

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікаційних систем

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Л.О. Уривський

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

**на тему: «Дослідження методик підвищення якості передачі даних в
мобільних мережах»**

Виконала:

студентка II курсу, групи ТС-71мп

Грицко Алла Вікторівна _____

Керівник:

К. т. н., доцент

Гаттуров В.К. _____

Рецензент:

К.т.н, доцент

Мазор С.Ю. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студентка _____

Київ – 2018

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікаційних систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 (172.3620.1 «Телекомунікаційні системи та мережі»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Л.О. Уривський

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студентці
Грицько Аллі Вікторівні

1. Тема дисертації «ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИК ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ», науковий керівник дисертації Гаттуров Віктор Кавич, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: мережа мобільного зв'язку стандарту LTE-Advanced.

4. Предмет дослідження: комплекс питань, пов'язаний з організацією управління якістю телекомунікаційних послуг та підвищення якості передачі даних шляхом використання оптимального алгоритму планувальника пакетів MAC-підрівня.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Дослідити показники якості передачі даних та методики управління якістю в мережах мобільного зв'язку;
2. Проаналізувати основні стандарти і рекомендації щодо контролю якості послуг в мобільних мережах, прийнятих в Україні та в світі;

3. Дослідити методики підвищення якості передачі даних з точки зору максимізації пропускної здатності мережі шляхом введення оптимального алгоритму планувальника пакетів;
4. Протестувати алгоритм планувальника пакетів для технології Coordinated Multi-Point» (CoMP) та виконати аналіз вибору оптимального планувальника пакетів MAC-рівня;
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
 - Плакати №1 Тема роботи, мета, об'єкт та предмет дослідження
 - Плакати №2 Аналіз методик управління якістю, ч.1
 - Плакати №3 Аналіз методик управління якістю, ч.2
 - Плакати №4 Результати симуляції, ч.1
 - Плакати №5 Результати симуляції, ч.2
 - Плакати №6 Висновки по роботі

7. Дата видачі завдання

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1. | Формулювання теми, мети, об'єкту та предмету дослідження у магістерській роботі | 11.01.2018 | Виконано |
| 2. | Формулювання проблематики та визначення актуальності магістерської роботи. Зв'язок тематики магістерської роботи із сучасними інноваційними трендами в телекомунікаціях та інформаційному середовищі | 02.02.2018 – 17.02.2018 | Виконано |
| 3. | Формування переліку наукових завдань у магістерській роботі | 17.02.2018 – 01.03.2018 | Виконано |
| 4. | Обґрунтування необхідності забезпечення технічних рішень з питань управління якістю. | 01.03.2018 – 20.03.2018 | Виконано |
| 5. | Опис математичної моделі, яка використовується в магістерській роботі. | 20.03.2018 – 20.04.2018 | Виконано |
| 6. | Опис виконаних наукових завдань магістерської роботи. | 20.04.2018 – 20.05.2018 | Виконано |

| | | | |
|----|---|----------------------------|----------|
| 7. | Аналіз сучасного досвіду з питань управління якістю телекомунікаційних послуг | 20.05.2018 – 30.05.2018 | Виконано |
| 8. | Дослідження методик підвищення якості передачі даних шляхом максимізації пропускної здатності мережі. | 02.06.2018 – 29.06.2018 | Виконано |
| | Написання розділів до магістерської роботи | 01.07.2018 – 30.09.2018 | Виконано |
| 9. | Оформлення дипломної роботи. | 01.10.2018 – 01.11.2018 | Виконано |

Студентка

А.В. Грицко

Науковий керівник дисертації

В.К. Гаттуров

РЕФЕРАТ

Темою магістерської дисертації є дослідження методик підвищення якості передачі даних в мобільних мережах.

Робота містить 99 сторінок, зокрема 17 ілюстрацій, 10 таблиць та 40 джерел інформації.

Тема магістерської дисертації є актуальною, оскільки через зростаючі вимоги кінцевого користувача до якості передачі даних провайдери телекомунікаційних послуг змушені приділяти велику увагу методикам управління якістю.

Мета дисертації полягає в дослідженні методик управління якістю в мережах мобільного зв'язку, аналізі алгоритмів розподілу радіоресурсу шляхом введення оптимального планувальника пакетів та розробці рекомендацій для операторів мобільного зв'язку.

Об'єктом дослідження є мережа оператора послуг мобільного зв'язку стандарту LTE-Advanced. Предметом дослідження є методика управління якістю передачі даних шляхом використання оптимального алгоритма планувальника пакетів.

При виконанні роботи застосовувалося моделювання у пакеті програмного забезпечення NS-3 для симуляції та тестування різних моделей аналізу часових рядів, які лежать в основі CoMP алгоритму.

ABSTRACT

The theme of the master's thesis is the research of quality improvement techniques of data transfer in mobile networks

The thesis contains 99 pages, including 17 illustrations, 10 tables and 40 sources of information.

The topic of the master's thesis is relevant, because due to the growing demands of the end-user to the quality of data transmission, providers of telecommunications services are forced to pay much attention to quality management methods.

The purpose of the master's thesis is to study methods of quality management in mobile communication networks, to analyze algorithms of distribution of radio resources by introducing an optimal package scheduler and to develop recommendations for mobile communication operators.

The object of the research is the LTE-Advanced network of mobile service provider. The subject of the study is a method for controlling the quality of data transmission by optimizing packet scheduling algorithm.

During the work simulation was used in the software package NS-3 to simulate and test different time series analysis models underlying the CoMP algorithm.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 9 |
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ | 12 |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ | |
| ЯКОСТІ ПОСЛУГ ЗВ'ЯЗКУ | 14 |
| 1.1.Визначення поняття якості послуг зв'язку..... | 14 |
| 1.3 Аналіз міжнародного досвіду управління якістю послуг | 22 |
| 1.4 Аналіз законодавства України..... | 32 |
| 1.5 Підсумок аналізу законодавства | 35 |
| 1.6 Висновки з розділу 1..... | 39 |
| РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА КРИТЕРІЇВ ТА МЕТОДИК ОЦІНКИ | |
| ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ..... | 42 |
| 2.1 Система показників якості послуги передачі даних у мережах мобільного зв'язку | 42 |
| 2.2. Основні вимоги до параметрів мобільних мереж в контексті визначення якості передачі даних | 50 |
| 2.3 Методики оцінки якості передачі даних в мережах мобільного зв'язку | 61 |
| 2.4. Функціональна модель передачі даних (мультимедійного трафіку) в системах мобільного зв'язку LTE | 63 |
| 2.5. Планувальників пакетів прямих каналів, алгоритми їх роботи і показники ефективності | 66 |
| 2.6 .Висновки з розділу 2: | 72 |
| РОЗДІЛ 3.ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ | |
| ПЛАНУВАЛЬНИКІВ ПАКЕТІВ ЗА ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМ | |
| ПОКАЗНИКОМ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ | 73 |
| 3.1. Постановка задачі | 73 |
| 3.2 Огляд симуляторів | 79 |
| 3.3 Надбудова над симулятором NS-3 | 80 |
| 3.4 Опис тестового сценарію | 81 |
| 3.5 Технічні деталі тестового сценарію:..... | 82 |
| 3.6 Опис CoMP підсистеми MAC-планувальника..... | 83 |
| 3.6.1 Алгоритм вибору..... | 85 |
| 3.6.2. Визначення показника якості алгоритму вибору | 86 |
| 3.6.3 Наївний алгоритм (алгоритм Round Robin)..... | 87 |
| 3.6.4 Ковзне середнє | 88 |
| 3.6.5 Апроксимаційний алгоритм..... | 90 |
| 3.6.6 Аналіз результатів програмної симуляції | 91 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 3.7 Висновки з розділу 3: | 93 |
| ВИСНОВКИ | 94 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... | 96 |

ВСТУП

Процеси глобалізації інфокомунікаційних мереж та міжнародна інтеграція вимагають визначення можливих шляхів становлення і розвитку національної системи оцінки та управління якістю послуг зв'язку.

Нові радіотехнології зв'язку і мовлення, що дозволяють впроваджувати на телекомунікаційний ринок все більшу кількість послуг зв'язку, змушують світове телекомунікаційне співтовариство поглянути на питання оцінки якості послуг зв'язку і систему управління якістю як на один з найважливіших чинників ефективного розвитку ринку послуг зв'язку. На даний час у всьому світі вимоги споживачів до якості послуг зв'язку, та зокрема якості передачі даних, стали більш диференційованими і жорсткими, що є важливим з точки зору забезпечення ефективної економічної діяльності операторів зв'язку.

В даний час і в Україні тема якості мобільного зв'язку є досить актуальною. Тривалий розвиток телекомунікаційного ринку, загострення конкуренції між операторами зв'язку на території держави, перехід цієї конкуренції з цінової площини в площину послуг - всі ці чинники обумовлюють збільшення уваги, яка приділяється питанням якості послуг зв'язку. Зацікавленими особами тут є і користувачі, і оператори, і регулюючі та контролюючі органи.

Створення єдиної системи показників якості та нормування є найважливішим завданням на шляху формування цілісної системи взаємодії операторів мереж мобільного зв'язку, абонентів і контролюючих організацій. Таким чином, абонент може оцінити послуги, які надаються різними компаніями за єдиною шкалою норм на показники якості, а підприємство - сформувати інтегральний підхід до контролю якості та оптимізації функціонування мережі. Гармонізація національної та міжнародної системи дозволить вітчизняним операторам мобільного

зв'язку підвищити конкурентоспроможність послуг з урахуванням останніх вимог світового телекомунікаційного ринку, а впровадження єдиних норм на показники якості створить умови, при яких і контролюючі організації і абонент мережі зможуть оцінити послуги, що надаються різними компаніями. Розвиток національної системи управління якістю повинен базуватися на досконалій нормативно-правовій базі, яка враховує сучасний рівень якості послуг зв'язку та нормативні вимоги суміжних країн, що входять в ЄС.

Стандартизація системи управління якістю та розробка вимог до якості послуг зв'язку повинні стати визначальними напрямками досліджень в галузі. Метою магістерської роботи є підвищення ефективності та конкурентоспроможності систем мобільного зв'язку при переході до мереж четвертого покоління.

Для досягнення поставленої мети необхідне рішення наступних основних завдань:

1. Аналіз і систематизація еволюції мереж зв'язку, правових основ і принципів оцінки, контролю і управління якістю послуг зв'язку;
2. Систематизація критеріїв і методик оцінки якості обслуговування абонентів при передачі даних;
3. Аналіз алгоритмів і методик управління якістю передачі мобільного зв'язку;
4. Дослідження алгоритмів і методик управління якістю послуг при передачі високошвидкісних даних в мережах мобільного зв'язку четвертого покоління;
5. Розгляд питань реалізації підвищення якості передачі даних в мережі мобільного зв'язку стандарту LTE-Advanced.

Науковою задачею магістерської роботи є дослідження методик підвищення якості передачі даних в мережах мобільного зв'язку при

обслуговуванні мультимедійного трафіку шляхом використання алгоритмів планувальників пакетів МАС-рівня CoMP-технології з динамічним вибором сектору.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

| | | |
|--------|---|---|
| IETF | – | The Internet Engineering Task Force – цільова інженерна група Інтернету |
| IP | – | Internet Protocol – міжмережевий протокол |
| 3GPP | – | 3 rd Generation Partnership Project – Міжнародний партнерський проект, створений для стандартизації систем третього покоління |
| KPI | – | Key performance indicators – ключові показники ефективності |
| ETSI | – | European Telecommunications Standardization Institute – Європейський інститут стандартів з телекомунікацій |
| P2P | – | Peer-to-peer – однорангова взаємодія |
| SMS | – | Short Message Service – послуга передачі коротких текстових повідомлень |
| TC STQ | – | Speechand Multimedia Transmission Quality Technical Committee – технічний комітет з якості послуг при передачі голосової та мультимедійної інформації |
| NP | – | Network Performance – параметри, що характеризують роботу мережі зв'язку |
| QoE | – | Quality of Experience – якість сприйняття |
| QoS | – | Quality of Service – якість послуги |
| MAC | – | Media Access Control – управління доступом до середовища |
| SLA | – | Service Layer Agreement – угода про рівень обслуговування |
| CoMP | – | Coordinated Multi-Point – координована прийомопередача |
| MCE | – | Міжнародний союз електрозв'язку |
| MCE-T | – | Сектор стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку |
| БС | | Базова станція |
| ДСТУ | – | Державний стандарт України |

- КБС – Контролер базових станцій
- НКРЗІ – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЯКОСТІ ПОСЛУГ ЗВ'ЯЗКУ

1.1.Визначення поняття якості послуг зв'язку

На даний момент часу загальноприйнятого визначення поняття якості не існує. Різні організації дають визначення якості відповідно до вирішуваних ними завданнями. Тільки в Рекомендаціях МСЕ -Т можна знайти 13 різних визначень QoS.

Загальне визначення поняття якості наведено в міжнародному стандарті ISO 8402 1994 року: « сукупність характеристик об'єкта, що відносяться до його здатності задовольняти встановлені і передбачувані потреби ». У 2000 році стандарт ISO 8402 був замінений стандартом ISO 9000, в якому поняття «якість» визначено як ступінь відповідності власних характеристик вимогам [6].

На основі загального поняття якості стандарту ISO 8402 були визначені основні терміни в області якості послуг зв'язку (QualityofService, QoS), вперше наведені в Рекомендації МСЕ -Т E.800. У Рекомендації МСЕ -Т E.800 дано таке визначення QoS : « сукупний показник експлуатаційних характеристик послуги, що визначає ступінь задоволеності користувача послугою»[7,8].

Численні публікації, включаючи міжнародні стандарти, використовують поняття QoS, але або не визначають його, або дають посилання на одну з наведених вище визначень. Наприклад, у багатьох стандартах, звітах і специфікаціях [1-10] при використанні поняття QoS посилаються на Рекомендацію МСЕ -Т E.800.

Крім того використовується поняття «якість сприйняття» (Quality Of Experience, QoE), методологія оцінки якого і основне значення параметрів представлені в Рекомендації G.1011.

В цілому якість послуги характеризується сукупністю наступних основних споживчих властивостей : забезпеченістю, зручністю використання, дієвістю, безпекою та іншими властивості, специфічними для кожної послуги.

Забезпеченість послуги - здатність оператора зв'язку надавати послугу (набір послуг) і забезпечувати обслуговування користувача з найкращим чином.

Зручність використання - властивість послуги, що характеризує, наскільки успішно і просто користувач може її отримати

Дієвість - властивість послуги бути наданою тоді, коли це необхідно користувачу, і тривати без надмірного погіршення протягом необхідного часу (в межах визначених допусків і в заданих умовах).

Безпека - властивість послуги бути захищеною від несанкціонованого доступу, зловмисного і неправильного використання, навмисного псування, помилок людини і стихійних лих.З чотирьох перерахованих вище властивостей найважливішим є дієвість, яка, в свою чергу, має три складові:

- доступність - властивість послуги бути наданою тоді, коли це необхідно користувачу ;
- безперервність - властивість послуги, будучи наданою, тривати протягом необхідного часу;
- цілісність - властивість послуги, будучи наданою, забезпечуватися без надмірного погіршення.

Існуюче різноманіття різних визначень характеризує складність визначення всіх аспектів, що відносяться до поняття QoS.

Якість послуги залежить від характеристик функціонування мережі (Network Performance, NP). Характеристики функціонування мережі визначають здатність мережі або її частини виконувати функції, що забезпечують зв'язок між користувачами.

QoS - це результат сприйняття користувача, в той час як NP визначається експлуатаційними характеристиками окремих мережевих елементів чи експлуатаційними характеристиками всієї мережі в цілому.

Таким чином, QoS не тільки задається або визначається показниками, які можуть бути виражені технічними показниками, але також визначається суб'єктивним показником, який визначає очікуване і сприймається користувачем якість.[9]

1.2 Стандартизація якості послуг зв'язку

Стандартизацією якості послуг на міжнародному рівні займаються Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ), включаючи Сектор телекомунікацій (МСЕ -Т) і Сектор радіозв'язку (МСЕ -Р), Європейський інститут з телекомунікаційних стандартів (European Telecommunications Standardization Institute, ETSI), а також партнерство 3GPP.

У МСЕ розробкою рекомендацією, що відносяться до питань забезпечення якості послуг у мережах фіксованого зв'язку, включаючи кінцеве обладнання, мережі доступу, транспортні мережі, мережі телефонного зв'язку, займається сектор МСЕ -Т, а питаннями забезпечення якості послуг в мережах бездротового зв'язку, включаючи, кінцеве обладнання, мережі рухомого зв'язку, супутникового зв'язку, займається сектор МСЕ -Р [11-12]/

МСЕ -Т розробив базові рекомендації, що створюють загальну основу для стандартизації питань забезпечення якості послуг в мережах електрозв'язку, включаючи наступні рекомендації (таблиця 1.1) Провідною дослідницькою комісією (ДК) МСЕ -Т у сфері якості послуг зв'язку є ДК 12 (« Параметри роботи мережі, якість послуг і якість сприйняття »). У МСЕ -Р раніше питаннями якості послуг займалася ДК 8 («Мобільний зв'язок,

радіолокація, аматорська зв'язок, супутниковий зв'язок і послуги). На даний момент часу ДК 8 розформована, а її запитання розподілені між ДК 4 і ДК5.

Таблиця 1.1 – Базові рекомендації MCE-T

| Номер рекомендації | Назва рекомендації | Зміст рекомендації |
|--------------------|--|---|
| MCE-T G.1000 | «Якість послуг зв'язку» | Приведено загальне визначення QoS. |
| MCE-T G.1010 | «Категорії якості послуг мультимедіа з точки зору кінцевого користувача » | Наведено категорії QoS для послуг мультимедіа з точки зору кінцевого користувача, а також їх співвідношення з характеристиками роботи мережі. |
| MCE-T E.800 | "Терміни та визначення, що відносяться до якості послуг зв'язку та роботи мереж, включаючи надійність» | Наведено поняття якості послуг. |
| MCE-T Y.1514 | «Параметри роботи мереж для надання послуг, що базуються на протоколі IP ». | Наведено класи QoS і деякі параметри QoS для мереж з комутацією пакетів по протоколу IP. |
| MCE-T Y.1515 | «Параметри роботи мереж для надання додатків реального часу ». | Наведено параметри QoS, необхідні для додатків, що вимагають режиму реального часу. |

Одним з найбільш важливих документів, підготовлених раніше діючої ДК 8 МСЕ -Р, є рекомендація МСЕ -Р М.1079 - 2. Дана рекомендація визначає вимоги до QoS в мережах доступу ІМТ- 2000 при передачі голосової інформації і даних, а також вимоги до часу встановлення з'єднання, затримці в мережі доступу ІМТ- 2000 при встановленні з'єднання.

У ETSI стандартизацією вимог до якості послуг, у тому числі для мереж рухомого зв'язку, займається технічний комітет з якості послуг при передачі голосової та мультимедійної інформації (Speech and Multimedia Transmission Quality Technical Committee, TCSTQ). Цей технічний комітет координує розробку питань якості різними технічними комітетами ETSI і в своїй роботі тісно взаємодіє з МСЕ, 3GPP, Європейським комітетом з стандартизації в галузі електротехніки (European Committee for Electrotechnical Standardisation, CENELEC), міжнародним проектом VoLTE («Голос по LTE ») і ін

У повноваження TCSTQ входять питання забезпечення якості, що відносяться до стандартизації кінцевого і мережевого устаткування, використовуваного для передачі голосової та мультимедійної інформації, параметри роботи мережі з кінця в кінець, параметри QoS для мережі і послуг, і методи оцінки якості сприйняття.

Основні документи ETSI, в яких наведено загальні підходи до забезпечення якості послуг зв'язку, представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні документи ETSI, в яких наведено загальні підходи до забезпечення якості послуг зв'язку

| Номер документа | Назва документа | Зміст документа |
|---------------------------|--|--|
| ETSI ETR 003 | Network Aspects (NA); General aspects of Quality of Service (QoS) and Network Performance (NP) | Визначення понять «QoS» і «NP», їх взаємозв'язок. |
| ETSI ETR 138 | Network Aspects (NA); Quality of service indicators for Open Network Provision (ONP) of voice telephony and Integrated Services Digital Network (ISDN) | Параметри QoS для голосових послуг в мережах телефонного зв'язку і ISDN. |
| ETSI EG 202 057-1 V1.3.1. | Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 1: General | Визначення параметрів QoS для різних послуг. Загальні рекомендації з вимірювання цих параметрів і збору статистики. |
| ETSI EG 202 057-2 V1.3.1 | Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 2: Voice telephony, Group 3 fax and modem data services | Визначення параметрів QoS для послуг телефонного зв'язку, передачі факсимільних повідомлень, передачі даних і передачі коротких текстових повідомлень. |

Основні документи 3GPP, в яких наведено загальні підходи до забезпечення якості послуг зв'язку, представлені в таблиці 1.3[5,8].

Таблиця 1.3 – Основні документи 3GPP, в яких наведено загальні підходи до забезпечення якості послуг зв'язку

| Номер документа | Назва документа | Зміст документа |
|----------------------------------|--|--|
| 3GPP TS 23.207 V11.0.0 (2012-09) | 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; End-to-end Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 11) | Вимоги до архітектури підтримки QoS в мережах рухомого зв'язку, побудованих з використанням технології комутації пакетів IP і IMS. |
| 3GPP TS 29.208 V6.7.0 (2007-06) | 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network and Terminals; End-to-end Quality of Service (QoS) signalling flows (Release 6) | Потоки сигналізації для резервування мережевих ресурсів відповідно з показниками якості в мережах рухомого зв'язку, побудованих з використанням технології комутації пакетів IP і IMS. |
| 3GPP TS 29.213 | Policy and Charging Control signalling flows and Quality of Service (QoS) parameter mapping (ETSI TS 129.213) | Модель відображення параметрів QoS між протоколами верхнього і нижніх рівнів. |

Продовження таблиці 1.3 – Основні документи 3GPP, в яких наведено загальні підходи до забезпечення якості послуг зв'язку

| | | |
|--|---|---|
| 3GPP TR 23.802 V7.0.0 (2005-09) | 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Architectural enhancements for end-to-end Quality of Service (QoS) (Release 7) | Сценарії встановлення з'єднань в мережах рухомого зв'язку, побудованих на технологіях комутації пакетів IP і IMS, з урахуванням забезпечення якості послуг. |
| 3GPP TS 22.105 V11.0.0 (2012-09) | 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Services and service capabilities (Release 11) | Класифікація послуг і параметри якості в мережах рухомого зв'язку. |
| 3GPP TS 22.278 V12.1.0 (2012-06) | 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for the Evolved Packet System (EPS) (Release 12) | Основні аспекти QoS, що сприймаються користувачами послугами стосовно до мереж LTE. |

1.3 Аналіз міжнародного досвіду управління якістю послуг

На сучасному ринку послуг зв'язку, на якому попит на послуги зв'язку досяг насичення, основну увагу операторів зв'язку спрямовано на

розширення переліку послуг та підвищення їх якості. Згідно із дослідженням, проведеним компанією A.T. Kearney, яка розглядала 21 країну, вимоги щодо забезпечення якості послуг у більшості закордонних країн відносяться до послуг фіксованого телефонного зв'язку, універсальних послуг, послуг рухомого зв'язку і доступу в Інтернет.

Накладення вимог до якості послуг фіксованого зв'язку пояснюється тим, що мережі телефонного зв'язку історично складають основу телекомунікаційної інфраструктури, тому в більшості закордонних країн на операторів зв'язку накладаються вимоги по вимірюванню якості послуг і опублікуванню результатів вимірювань.

Що стосується універсальних послуг, то вони повинні надаватися громадянам за прийнятними цінами з необхідною якістю. У тих країнах (наприклад, Канада, США, Фінляндія), де регулюючі органи не встановили вимоги до якості універсальних послуг, оператори зв'язку зобов'язані публікувати звіти про якість послуг на своїх Web- сайтах і в місцях продажу. До операторів зв'язку, які не виконують встановлені вимоги, застосовуються штрафні санкції.

У деяких країнах, наприклад, Італія, Латвія, Індія та інших, встановлено мінімальні вимоги до якості послуг рухомого зв'язку і доступу в Інтернет[18].

Відповідно до звіту «Quality of services monitoring. International practices», опублікованому МСЕ в листопаді 2011 року, постійно зростає кількість країн, що здійснюють моніторинг якості послуг зв'язку. Так, якщо в 2006 році їх кількість становила 50, то вже в 2010 році - 136 країн, включаючи країни Європи, Північної і Південної Америки, Азіатсько-Тихоокеанського регіону, СНД, Африки та Арабські країни (рисунок 1.1). Основними цілями моніторингу якості послуг зв'язку є:

- підтримка конкурентоспроможності на телекомунікаційному ринку ;

- визначення необхідності розширення, модернізації мережі зв'язку для забезпечення підтримки контрольованих значень показників якості послуг зв'язку при зростаючому обсязі пропускається трафіку;
- залучення нових абонентів і збереження лояльності існуючих абонентів шляхом опублікування результатів вимірювань якості послуг зв'язку, підтримуваних мережею зв'язку.



Рисунок 1.1 – Динаміка кількості країн, що здійснюють моніторинг якості послуг

Відповідно до світового досвіду завдання забезпечення якості послуг зв'язку вирішується таким чином (див. рисунок 1.2).

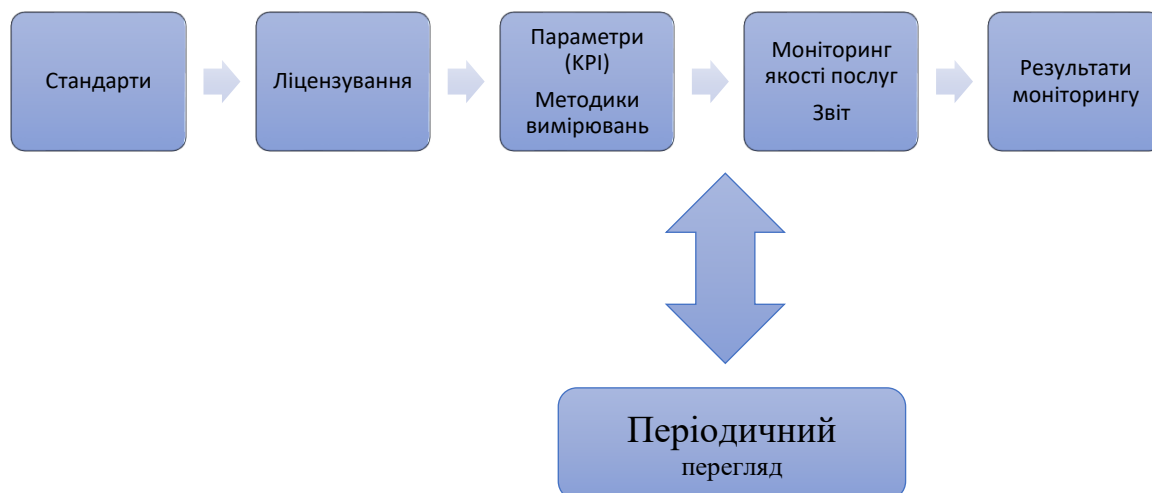


Рисунок 1.2 – Рішення задачі забезпечення якості послуг зв'язку

Як видно з рисунка 1.2 вимоги до переліку показників якості послуг зв'язку можуть встановлюватися в стандартах міжнародних організацій, таких як МСЕ, ETSI, національних стандартах, галузевих стандартах та інших документах.

Умови щодо підтримки якості послуг зв'язку можуть встановлюватися:

1. в ліцензійних умовах, наприклад, Франція, Індія, Пакистан;
2. в національному законодавстві, наприклад, Малайзія, Сінгапур, Танзанія ;
3. в галузевих керівних документах, наприклад, Австралія.

Методики вимірювань показників якості послуг зв'язку можна розділити на:

- методики вимірювань показників, що характеризують роботу мережі зв'язку, наприклад, середній час встановлення з'єднання, кількість скинутих викликів, частка успішних викликів, швидкість з'єднання, доступність мережі за рівнем радіосигналу, частка успішно переданих повідомлень SMS і пр.;

- методики вимірювань показників, що впливають на задоволеність користувачів послугами зв'язку, наприклад, правильність нарахування оплати в рахунку, помилки під час виставлення рахунку.

Моніторинг якості послуг зв'язку здійснюється шляхом вимірювань на мережі зв'язку, які можуть спиратися як на статистичні дані або контрольні вимірювання, так і на підставі опитувань користувачів послугами зв'язку та аналізу поданих ними претензій.

Результатами моніторингу якості послуг зв'язку є:

- повідомлення регулюючого органу на Web- сайті, в прес-релізах;
- публікації в засобах масової інформації;
- накладення адміністративного штрафу;
- судові розгляди.

Крім цього, передбачена процедура перегляду показників якості послуг зв'язку, методик вимірювань та проведення вимірювань. Як показує іноземний досвід, періодичність перегляду здійснюється один раз на три роки.

Раніше, коли були поширені лише мережі фіксованого телефонного зв'язку, вимоги до забезпечення якості накладалися на операторів мереж фіксованого зв'язку. Оскільки сучасні мережі телефонного зв'язку на практиці стали універсальними і перейшли на технологію комутації пакетів по протоколу IP, в яких доступ до послуг зв'язку здійснюється по мережах фіксованого і мобільного широкосмугового доступу, то першочерговим завданням, яку іноземні регулюючі органи ставлять перед операторами зв'язку, полягає в забезпеченні якості послуг широкосмугового доступу.

Наприклад, британський регулюючий орган в галузі зв'язку Ofcom в 2008 році опублікував нові правила « Code of Practice » для постачальників

послуг Інтернету, згідно з якими останні повинні гарантувати користувачам послуг широкосмугового доступу заявлені ними швидкості доступу в Інтернет. Дані дії Ofcom були викликані тим, що користувачі, підписавшись на послуги доступу в Інтернет, часто отримують доступ в Інтернет на швидкостях нижче, ніж постачальники послуг Інтернету оголошують у своїх рекламних кампаніях.

Для того, щоб ясно уявляти, які зміни відбуваються на ринку послуг широкосмугового доступу, Ofcom вирішив публікувати офіційні звіти про діяльність постачальників послуг Інтернету на всій території Великобританії. У зв'язку з цим регулюючий орган Ofcom проводить незалежні від операторів зв'язку дослідження з визначення реальних швидкостей доступу в Інтернет у користувачів [19]. При цьому користувачам також надається можливість самотійно протестувати швидкість доступу в Інтернет за допомогою спеціального Web -сайту

Крім цього, регулятор Ofcom уклав договір з компанією Eritiro, відповідно до якого компанія буде проводити тестування пропускну здатності на мережах операторів мереж рухомого зв'язку. При проведенні вимірювань компанія Eritiro буде використовувати свою технологію вимірювань ipQ «Consumer Experience », щоб охопити більшу кількість ключових показників ефективності (KPI), в тому числі доступність, надійність і пропускну здатність мереж рухомого зв'язку. Зібрані дані будуть аналізуватися для того, щоб визначити, як змінюються швидкості передачі даних при наданні послуг широкосмугового доступу.

В Іспанії національний регулюючий орган МСТ зобов'язав операторів зв'язку публікувати кожен квартал ключові показники і параметри якості послуг, включаючи реальні швидкості доступу до мережі Інтернет. На підставі цих даних регулятором складаються і публікуються офіційні звіти.

У Німеччині національний регулюючий орган Bundesnetzagentur почав проводити дослідження вимірювань якості послуг ШПД. Це дослідження

спрямоване на те, щоб надати користувачам можливість самостійно контролювати такі показники і параметри якості послуг широкосмугового доступу як швидкість, затримка передачі та інші. Дане дослідження почалося в другому півріччі 2012 року і доступно в режимі онлайн для того, щоб дозволити користувачам перевіряти свої абонентські лінії

Італійський регулятор AGCOM в 2008 році відповідно до документу Delibera n. 244/08/CSP створив систему вимірювання та моніторингу і почав проводити тестування швидкостей доступу до мережі Інтернет (<https://www.misurainternet.it>). Мета вимірювань полягає в тому, щоб надати користувачам послугами Інтернету і регулятору достовірну інформацію про діяльність кожного оператора зв'язку / постачальника послуг Інтернету і використовуваних ними технологіях (xDSL, кабель, FTTH). Дані вимірюються як операторами зв'язку / постачальниками послуг Інтернету (тестування абонентських ліній), так і самими користувачами (за допомогою програмного забезпечення, що завантажується).

Починаючи з 2010 року подібні вимірювання почали проводитися в мережах мобільного ШСД.

У 2009 фінський регулятор FICORA зобов'язав операторів зв'язку проводити вимірювання якості послуг зв'язку. Регулюючий орган FICORA також рекомендував (але не вимагав) операторам надавати користувачам необхідний інструментарій для самостійного вимірювання якості надаваних їм послуг зв'язку. Крім цього, регулюючий орган прийняв правовий акт, що встановлює мінімальні вимоги до якості до ряду послуг доступу до мережі Інтернет.

Національний регулятор Латвії SPRK наприкінці 2009 прийняв рішення, відповідно до якого була проведена класифікація послуг доступу до мережі Інтернет на дванадцять категорій, залежно від швидкості доступу в напрямку до/від абонента. У зв'язку з цим постачальники послуг Інтернету

повинні щорічно надавати регулятору деталізацію по шести параметрах для кожної категорії послуги:

- середня швидкість;
- середній час завантаження і затримки;
- середній час очікування ;
- середній час втрати пакета ;
- середній час на ремонт абонентської лінії;
- середня сервісна доступність.

У щорічних звітах повинні приводитися порівняльні дані поточного року з попереднім роком. Звіти публікуються на офіційному сайті регулятора, які дозволяють користувачам отримувати достовірну інформацію про діяльність постачальників послуг Інтернету і проводити їх порівняння.

Раніше, в 2007 році, регулятор також запросив від постачальників послуг Інтернету включати показники і параметри якості послуг: гарантовані швидкості завантаження, доступність послуги, час відновлення абонентської ліній - в договори з абонентами як один з механізмів захисту прав споживачів.

У 2011 національний регулятор Румунії ANCOM прийняв рішення, відповідно до якого оператори зв'язку повинні опубліковувати і включати в договори з кінцевими користувачами показники і параметри якості послуг (QoS) для того, щоб користувачі мали можливість порівнювати запропоновані різними операторами зв'язку послуги доступу в Інтернет.

У США Федеральна комісія із зв'язку (FCC) вимагає від постачальників послуг Інтернету опубліковувати інформацію про параметри, що характеризують роботу мережі зв'язку, і якість послуг. На підставі цих даних регулятором складаються і публікуються офіційні звіти «Measuring Broadband America». Так наприклад, у звіті, опублікованому

FCC в липні 2012 року, зазначається, що більшість постачальників послуг доступу в Інтернет надають послуги широкосмугового доступу на швидкостях, заявлених у рекламних кампаніях, а в деяких випадках, такі оператори як Comcast і Verizon, які надають послуги широкосмугового доступу на базі оптичних технологій, пропонують швидкості доступу в Інтернет, що перевищують очікування користувачів, тобто швидкості доступу в Інтернет набагато вище в порівнянні з заявленими в рекламі (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Рівень забезпечення заявленої швидкості передачі на практиці

| Назва провайдера послуг Інтернет | 2011 рік* | 2012 рік* |
|-------------------------------------|-----------|-----------|
| AT&T | 81% | 87% |
| Cablevision | 54% | 120% |
| CenturyLink | 87% | 89% |
| Charter | 96% | 98% |
| Comcast | 101% | 103% |
| Cox | 95% | 95% |
| Frontier | 81% | 79% |
| Insight | 89% | 92% |
| Mediac | 75% | 100% |

Так само FCC надає на Web-сайті(<http://www.broadband.gov/qualitytest/about/>) можливість користувачам самостійно вимірювати швидкість широкосмугового з'єднання. Крім цього, на початку вересня 2012 року FCC оголосила про нову Програму «Measuring Mobile America», яка направлена на проведення тестування доступу в Інтернет в мережах мобільного широкосмугового доступу.

В більшості країн моніторинг якості послуг (в порядку зниження кількості країн, в яких встановлені вимоги до моніторингу послуги кожного виду) стосується наступних послуг зв'язку :

1. Послуги фіксованого зв'язку;
2. Послуги рухомого зв'язку;
3. Послуги доступу в інтернет;
4. Універсальні послуги, за виключенням країн Європи, в яких пред'являються вимоги до операторів універсальних послуг зв'язку;
5. інші.

При цьому вимоги щодо забезпечення моніторингу якості послуг зв'язку накладаються на наступних операторів зв'язку / постачальників послуг:

- оператори мереж фіксованого зв'язку;
- оператори мереж рухомого зв'язку;
- оператори зв'язку, що займають істотне становище на ринку;
- оператори універсальних послуг зв'язку / оператори доступу;
- оператори віртуальних мереж зв'язку, включаючи MVNO;
- постачальники послуг;
- інші.

Відповідно із зарубіжним досвідом загальною практикою моніторингу якості послуг для всіх країн є:

- визначення показників якості послуг зв'язку та норм на них ;
- розробка методики вимірювань;
- проведення вимірювань самостійно операторами зв'язку та / або контролюючими органами, а також незалежними компаніями ;
- публікація даних про якість послуг і звітів про результати вимірювань показників якості послуг зв'язку може здійснюватися один раз на квартал, раз на півроку або один раз на рік.

Як показує закордонна практика, найпопулярніший спосіб представлення даних про QoS - публікація на Web- сайті оператора зв'язку. При цьому інформація, що публікується на Web- сайті повинна відображати результати останніх вимірювань і повинна бути зрозуміла користувачам послугами, тобто повинна бути точною, короткою і з зазначенням періоду часу, протягом якого проводилися виміри. При цьому варто відзначити, що публікація даних про якість послуг на Web- сайті оператора зв'язку в більшості країн створює труднощі для користувачів в порівнянні показників якості послуг різних операторів зв'язку, оскільки оператори зазвичай публікують дані без зіставлення їх з результатами конкуруючих операторів зв'язку. Публікація звітів, в яких представляються дані про показники якості послуг різних операторів, якраз і дозволяє користувачам порівнювати показники і параметри якості між декількома операторами зв'язку.

1.4 Аналіз законодавства України

Головним державним регулюючим органом України є Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації (НКРЗІ). У сфері телекомунікацій, інформатизації, користування радіочастотним ресурсом та надання послуг поштового зв'язку НКРЗІ здійснює повноваження органу ліцензування, дозвільного органу, регуляторного органу та органу державного нагляду (контролю).

Українські стандарти з питань контролю якості телекомунікаційних послуг:

СОУ 64.2 – 00017584 – 001:2009

СОУ 64.2 – 00017584 – 002:2009

СОУ 64.2 – 00017584 – 005:2009

СОУ 64.2 – 00017584 – 006:2009

розроблені у відповідності з вимогами стандартів ETSI:

- ETSIEG 202 057-1 V1.3.1 (2008-07), Transmission and Quality Aspects (STQ);
- User related QoS parameter definitions and measurements;Part 1: General;
- ETSI EG 202 057-2 V1.2.1 (2005-10)Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ);User related QoS parameter definitions and measurements;Part 2: Voice telephony, Group 3 fax, modem data services and SMS;
- ETSI EG 202 057-3 V1.1.1 (2005-04) Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ);User related QoS parameter definitions and measurements;Part 3: QoS parameters specific to Public Land Mobile Networks (PLMN);
- ETSI TS 102 250-1 V1.2.1 (2007-03) Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ);QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks;Part 1: Identification of Quality of Service criteria;
- ETSI TS 102 250-2 V1.6.2 (2008-09)Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ);QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks;Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation;
- ETSI TS 102 250-3 V1.4.1 (2008-12)Speech and multimedia Transmission Quality (STQ);QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks;Part 3: Typical procedures for Quality of Service measurement equipment;
- ETSI TS 102 250-4 V1.3.1 (2009-03) Speech and multimedia Transmission Quality (STQ);QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks;Part 4: Requirements for Quality of Service measurement equipment;

- ETSI TS 102 250-5 V1.5.1 (2008-05) Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ);QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks;Part 5: Definition of typical measurement profiles;
- ETSI TS 102 250-6 V1.2.1 (2004-10) Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ);QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks;Part 6: Post processing and statistical methods;

Контроль за якістю телекомунікаційних послуг базується на принципах (у відповідності до ETSI ETR 138, ETSI EG 202 057-1, ETSI EG 202 057-2, ETSI EG 202 057-3, ETSI EG 202 057-4) :

- принцип 1: параметри повинні бути зрозумілими для споживачів послуг, корисними і важливими для них;
 - принцип 2: вимірювання параметрів повинні контролюватися при підключенні до телекомунікаційної мережі. Виміри повинні здійснюватися в процесі надання послуг. Щоб бути реалістичними, наскільки це можливо, реальний трафік, а не тестові виклики повинні використовуватися при проведенні вимірювань;
 - принцип 3: параметри повинні контролюватися незалежними організаціями. Контроль може бути здійснений шляхом безпосередніх вимірювань або аудиторської перевірки.
 - принцип 4: точність оцінки залежить від методів вимірювання. Методи повинні бути простими і невитратними;
 - принцип 5: параметри якості визначаються на основі простих статистичних оцінок.Вимоги до статистичних оцінок, в тому числі щодо визначення обсягу вибіркової сукупності повинні бути стандартизовані.
- Згідно з Положенням про якість телекомунікаційних послуг:
- випробування якості телекомунікаційної послуги - процес виконання сукупності операцій і правил вимірювання параметрів якості послуг

та обчислення показників якості телекомунікаційної послуги за встановленою методикою;

- параметр якості телекомунікаційної послуги - кількісна характеристика послуги, отримана в результаті вимірювання, опитування або як дані звітності;
- показник якості телекомунікаційної послуги - кількісна характеристика послуги, яка отримана шляхом розрахунку з параметрів якості та визначає результат діяльності оператора, провайдера телекомунікацій з надання послуг та обслуговування споживачів;
- якість телекомунікаційної послуги - сукупність показників, які характеризують споживчі властивості телекомунікаційної послуги та визначають її здатність задовольнити заявлені, встановлені і замовлені потреби споживача послуги.

Також в цьому положенні зазначається, що оператори телекомунікацій зобов'язані проводити випробування показників якості телекомунікаційних послуг та надавати звіти про ці випробування.

1.5 Підсумок аналізу законодавства

На сьогодні світовою тенденцією є стрімкий розвиток інформаційного суспільства. І рівень розвитку напряду залежить від рівня задоволення певним переліком телекомунікаційних послуг, за гарантованими державою цінами для усіх верств населення на всій території країни в будь-який момент часу. Цей показник визначає наскільки ефективна державна політика тієї чи іншої країни в цій сфері.

Також при побудові інформаційного суспільства головною рушійною силою в розвитку інформаційно-комунікаційних технологій є транспортна

складова – телекомунікаційні мережі. Тому, чим краща транспортна мережа, тим ефективніша державна політика.

Державна політика не виникає сама по собі. Вона є результатом складного процесу вироблення та прийняття державних рішень, спрямованих на розв'язання проблем у різних сферах суспільного життя.

Телекомунікації відіграють значну роль в соціальній та економічній діяльності суспільства, забезпечуючи підтримку розвитку економіки держави та соціальної сфери. Розвиток телекомунікацій повинен здійснюватися випереджувальними темпами порівняно із загальними темпами розвитку економіки і буде визначальним на найближчу і більш віддалену перспективу. Повільні темпи розвитку телекомунікацій спричиняють зниження конкурентоспроможності економіки України. Телекомунікації відіграють значну роль у прискоренні розвитку економіки та соціальної сфери.

Виходячи із завдань, що стоять перед системою державного управління у сфері телекомунікацій, мета даного розділу полягає в обґрунтуванні пропозицій до вироблення нових напрямів державної політики у сфері телекомунікацій, що дасть змогу на сучасному рівні, виходячи із реалій сьогодення здійснювати державне управління у сфері телекомунікацій.

Аналіз змісту зазначених вище законодавчих актів показав, що в цілому вони, в тій чи іншій мірі мають схожу структуру та наповнення, лише є певні національні особливості. Це, на нашу думку, викликано тим, що це країни СНД і всі входять до Регіонального союзу зв'язку. Також це може бути викликано тим, що структура та стан їх мереж практично були ідентичні і проблеми також однакові.

Ідентичним є бачення наступних питань:

1) Необхідність державного: управління, нагляду за ринком, регулювання ринку надання послуг, розподілу радіочастот, тарифної політики;

2) Визначення на законодавчому рівні:

- термінології понять у сфері телекомунікацій;
- прав та обов'язків операторів та користувачів телекомунікаційними послугами;
- пільг для окремих категорій населення при отриманні телекомунікаційних послуг;
- видів діяльності у сфері телекомунікацій, що підлягають ліцензуванню;
- надання послуг у надзвичайних ситуаціях;
- взаємодії внутрішніх органів із операторами при оперативно-розшуковій діяльності;

3) Відсутність диктатури держави в сфері телекомунікацій, а також визнання багатооператорського ринку, прозорості та недискримінаційної політики держави.

4) Підтримка з боку держави (фінансова, законодавча, інвестиційна) в частині розбудови загальнонаціональної телекомунікаційної мережі;

Головним спільним у державній політиці країн СНД є наявність законодавчо-визначеного поняття універсальної послуги (надання на всій території країни усім споживачам певного переліку телекомунікаційних послуг за фіксованою ціною та покриття за рахунок інших коштів різниці між нею та нормальною ринковою ціною).

Розбіжності лише в порядку та процедурі надання державою цих коштів.

Створення окремого фонду (резерву) для компенсування надання універсальних послуг (Російська Федерація, Республіка Білорусь). Інші

країни не створюють окремих фондів, а тільки законодавчо визначають процедуру компенсації.

В частині визначення механізму виклику екстрених служб ситуація така: в Російській Федерації та Республіці Білорусь компенсацію за надані послуг оператори отримують від організацій, які створили такі служби на основі договорів. В інших країнах компенсація відбувається за встановленим законодавчо способом. В усіх країнах виклик екстрених служб для споживачів безкоштовний, а саме забезпечення можливістю використання таких послуг на території усієї країни і усіма операторами визначено законодавчо.

В цілому в країнах, в яких проводилось дослідження, універсальні послуги – мінімальний перелік телекомунікаційних послуг, який визначається Державою. Найбільш поширеними є:

- а) послуги телефонного зв'язку з використанням таксофонів;
- б) послуги з передачі даних і наданню доступу до мережі „Інтернет” з використанням пунктів колективного доступу.

Що стосується України, то у ній одній законодавчо визначено не універсальні послуги, а загальнодоступні телекомунікаційні послуги.

Також суттєво відрізняється перелік послуг, а саме: послуги фіксованого телефонного (місцевого, міжміського, міжнародного) зв'язку, за винятком таких послуг, що надаються з використанням бездротового доступу, в тому числі служб екстреного виклику, послуги довідкових служб, зв'язку за допомогою таксофонів та переговорних пунктів, факсимільного і телеграфного зв'язку.

У країнах СНД різне бачення переліку видів господарської діяльності у сфері телекомунікацій, що підлягає ліцензуванню. Також в окремих країнах є поняття призупинення дії ліцензії, а також є критерії і сам поділ ліцензій на загальні та індивідуальні ліцензії.

В Україні відсутнє поняття загальні та індивідуальні ліцензії, а також немає процедури призупинення дії ліцензії на надання телекомунікаційних послуг.

У порівнянні із Україною у зарубіжних країнах простіше визначено механізм надання копій ліцензій окремим підрозділам (філіям), які не мають права підпису.

Також в Україні визначено надання телекомунікаційних послуг як операторами так і провайдерами телекомунікацій.

В цілому в Україні існує відповідна нормативно-правова база в сфері телекомунікацій, яка дає змогу проводити державну політику і здійснювати державне управління в сфері телекомунікацій. Бажано було б мінімізувати і конкретизувати перелік загальнодоступних послуг, більш чітко визначити процедуру компенсації таких послуг для операторів та провайдерів телекомунікацій, що дало б змогу сконцентрувати зусилля держави на повному забезпеченні загальнодоступними послугами усі верстви населення на всій території країни. Також до цього необхідно залучити усіх операторів телекомунікацій, щоб на сучасному рівні і з використанням новітніх технологій спільно вирішити усі проблемні питання.

З огляду на те, що Україна тісно співпрацює з країнами-сусідами як в рамках СНД так і з країнами ЄС, то це вимагає більш гнучко відноситися до тих змін, що відбуваються у нормативно-правовому полі цих структур та відповідним чином реагувати на це. Від ефективності цих кроків залежить ефективність, дієвість і сучасність державної політики і управління в сфері телекомунікацій.

1.6 Висновки з розділу 1:

Аналіз стану проблеми управління якістю передачі даних в мережах мобільного зв'язку показує, що створення єдиної системи та нормування показників якості є найважливішим завданням на шляху формування

цілісної системи взаємодії операторів мереж мобільного зв'язку, абонентів і контролюючих організацій. Таким чином, абонент може оцінити послуги, що надаються різними компаніями за єдиною шкалою норм на показники якості, а підприємство - сформулювати інтегральний підхід до контролю якості та оптимізації функціонування мережі. Гармонізація національної та міжнародної системи дозволить українським операторам мобільного зв'язку підвищити конкурентоспроможність послуг з урахуванням останніх вимог світового телекомунікаційного ринку, а впровадження єдиних норм на показники якості передачі даних створить умови, при яких і контролюючі організації, і абонент мережі зможуть оцінити послуги, що надаються.

Все це вимагає систематизації та узагальнення підходів до оцінки показників якості передачі даних та управління послугами та розробки відповідних методик оцінки показників якості передачі даних; алгоритмів і методик управління якістю обслуговування; розробка пропозицій щодо їх реалізації шляхом введення нових технологічних методик підвищення якості передачі даних.

У більш розгорнутому вигляді завдання, що вимагають свого вирішення в даній роботі, можна сформулювати в такий спосіб:

- виконати аналіз основних вимог до якості передачі даних в мобільних мережах;
- систематизувати критерії та методики оцінки якості послуг передачі даних;
- розглянути стандартні системи управління якістю обслуговування;
- розробити функціональну модель передачі мультимедійного трафіку в системі LTE-Advanced; (розділ 2.4)
- проаналізувати методики управління якістю передачі мультимедійного трафіку з точки зору максимізації пропускну здатності мережі шляхом введення оптимального алгоритму планувальників пакетів;

- протестувати алгоритм планувальника пакетів для технології Coordinated Multi-Point» (CoMP) та виконати аналіз вибору оптимального планувальника пакетів MAC-рівня;

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА КРИТЕРІЇВ ТА МЕТОДИК ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

2.1 Система показників якості послуги передачі даних у мережах мобільного зв'язку

Показники якості послуг мобільного зв'язку - чисельні характеристики послуги, які отримані шляхом розрахунку, виходячи з параметрів якості, які визначають результат діяльності оператора мобільного зв'язку в контексті надання послуг та обслуговування користувачів. В даному розділі:

- розглянемо систему показників якості мобільного зв'язку при передачі мультимедійного трафіку;
- систематизуємо методи оцінки показників якості;
- сформулюємо основні вимоги до якості послуг в мобільних мережах;
- деталізуємо методики оцінки показників якості передачі даних ;

На даний момент часу загальноприйнятого визначення поняття якості не існує. Різні організації дають визначення якості відповідно до вирішуваних ними завданнями. Тільки в Рекомендаціях МСЕ -Т можна знайти 13 різних визначень QoS.

Загальне визначення поняття якості наведено в міжнародному стандарті ISO 8402 1994 року: « сукупність характеристик об'єкта, що відносяться до його здатності задовольняти встановлені і передбачувані потреби ». У 2000 році стандарт ISO 8402 був замінений стандартом ISO 9000, в якому поняття «якість» визначено як ступінь відповідності власних характеристик вимогам.

На основі загального поняття якості стандарту ISO 8402 були визначені основні терміни в області якості послуг зв'язку (Quality of Service, QoS), вперше наведені в Рекомендації МСЕ -Т E.800. У Рекомендації МСЕ

-Т E.800 дано таке визначення QoS : « сукупний показник експлуатаційних характеристик послуги, що визначає ступінь задоволеності користувача послугою».

Численні публікації, включаючи міжнародні стандарти, використовують поняття QoS, але або не визначають його, або дають посилання на одну з наведених вище визначень. Наприклад, у багатьох стандартах, звітах і специфікаціях при використанні поняття QoS посиляються на Рекомендацію МСЕ -Т E.800.

Крім того використовується поняття «якість сприйняття» (Quality Of Experience, QoE), методологія оцінки якого і основне значення параметрів представлені в Рекомендації G.1011.

В цілому якість послуги характеризується сукупністю наступних основних споживчих властивостей : забезпеченістю, зручністю використання, дієвістю, безпекою та іншими властивості, специфічними для кожної послуги.

Забезпеченість послуги - здатність оператора зв'язку надавати послугу (набір послуг) і забезпечувати обслуговування користувача з найкращим чином.

Зручність використання - властивість послуги, що характеризує, наскільки успішно і просто користувач може її отримати

Дієвість - властивість послуги бути наданою тоді, коли це необхідно користувачу, і тривати без надмірного погіршення протягом необхідного часу (в межах визначених допусків і в заданих умовах).

Безпека - властивість послуги бути захищеною від несанкціонованого доступу, зловмисного і неправильного використання, навмисного псування, помилок людини і стихійних лих.З чотирьох перерахованих вище властивостей найважливішим є дієвість, яка, в свою чергу, має три складові:

- доступність - властивість послуги бути наданою тоді, коли це необхідно користувачу ;
- безперервність - властивість послуги, будучи наданою, тривати протягом необхідного часу;
- цілісність - властивість послуги, будучи наданою, забезпечуватися без надмірного погіршення.

Існуюче різноманіття різних визначень характеризує складність визначення всіх аспектів, що відносяться до поняття QoS.

Якість послуги залежить від характеристик функціонування мережі (NetworkPerformance, NP). Характеристики функціонування мережі визначають здатність мережі або її частини виконувати функції, що забезпечують зв'язок між користувачами.

QoS - це результат сприйняття користувача, в той час як NP визначається експлуатаційними характеристиками окремих мережевих елементів чи експлуатаційними характеристиками всієї мережі в цілому.

Таким чином, QoS не тільки задається або визначається показниками, які можуть бути виражені технічними показниками, але також визначається суб'єктивним показником, який визначає очікуване і сприймається користувачем якість.

Показники якості обслуговування абонента відображають всі основні аспекти взаємодії кінцевого користувача з мережею зв'язку та послугою, як товаром, що пропонується оператором відповідної мережі. Етапи користування послугою з точки зору користувача включають доступ до мережі і необхідної послуги, з урахуванням безперервності і повноти її надання.

Доступність мережі визначається абонентом індикацією назви мережі на дисплеї мобільного телефону, яка є для користувача сигналом про те, що він може користуватися послугами даного оператора. Мережевий оператор повинен надати абоненту мережі (по можливості

швидко) доступ до відповідної послуги. Це характеризує доступність послуги

Безперервність послуги характеризує умови завершення надання послуги (за бажанням користувача або всупереч його бажанню). Для кожного з перерахованих аспектів (критеріїв) якості надання послуг рухомого зв'язку QoS відповідним стандартом організації України визначено показники, характерні для тієї чи іншої послуги.

Розглянемо організаційні показники якості. Ці показники характеризують швидкість ремонту, правильність тарифікації і задоволеність абонентів обслуговуванням. Взаємозв'язок організаційних показників якості і параметрів для розрахунку представлена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Організаційні показники якості

| Критерії якості | Показники якості | Параметри для розрахунку |
|--------------------------|--|--|
| Швидкість ремонту | Коефіцієнт часу відновлення зв'язку | Час відновлення зв'язку (нормативни) |
| | | Загальна кількість заявок на відновлення зв'язку за звітний період |
| | | Кількість відновлень зв'язку, для яких час відновлення більше нормативного |
| Правильність тарифікації | Частка неправильно тарифікованих сесій | Загальна кількість рахунків за встановлені з'єднання за звітний період |
| | | Количество неправильно начисленных счетов |

Показники цієї групи оцінюються на основі статистичної інформації за звітний період, яку надає група якості відділу маркетингу

оператора мобільного зв'язку, і розраховуються через параметри якості, отримані в результаті проведення оціночних випробувань. При оцінці враховується кількість письмових звернень абонентів з претензіями до роботи технічних засобів мережі зв'язку компанії і з претензіями до роботи групи абонентського обслуговування.

Коефіцієнт часу відновлення зв'язку - це відношення кількості сеансів відновлень зв'язку, для яких час відновлення перевищив нормативне значення, до загальної кількості відновлень зв'язку за звітний період, виражене у відсотках або в абсолютній величині. Звітним періодом є квартал або рік.

Час відновлення зв'язку - це період часу, необхідний для відновлення надання послуг у разі аварії або пошкодження обладнання мережі мобільного зв'язку (несправності в апаратурі базових станцій або центру комутації мобільного зв'язку, пошкодження на стику мережі мобільного та фіксованого зв'язку і т.д.). Коефіцієнт часу відновлення зв'язку є важливим при оцінці взаємодії мережевих служб у випадках виходу з ладу апаратури зв'язку. Ця взаємодія включає в себе виявлення аварійних ситуацій в процесі моніторингу, оперативне сповіщення про аварію, виїзд аварійної бригади в точку територіального розташування несправної апаратури, час прийняття рішення, ремонт / заміну апаратури, завантаження ПЗ в встановлені блоки і т.п. Швидкість ремонту визначається коефіцієнтом відновлення зв'язку. Коефіцієнт відновлення зв'язку характеризує швидкість ремонту і оцінюється за статистичною звітністю оператора зв'язку.

Частка неправильно тарифікованих сесій - це відношення неправильно тарифікованих з'єднань до загальної кількості установлених з'єднань за звітний період, виражене в відсотках або абсолютної величині. Звітним періодом є квартал або рік. Показник характеризує правильність тарифікації. Неправильно тарифіковані сесії - результат поганої організації

системи нарахування платежів (білінгу) та системи стягнення платежів і нарахування послуг (чарджингу). Частка неправильно тарифікованих з'єднань оцінюється за статистичною звітністю оператора зв'язку. Розглянемо показники, що характеризують критерій задоволеності абонентів обслуговуванням:

Задоволеність абонента технічними аспектами обслуговування характеризує задоволеність абонентів обслуговуванням і визначає кількість підтверджених скарг на технічні аспекти обслуговування абонентів по відношенню до кількості абонентів мережі оператора. Задоволеність абонента організаційними аспектами обслуговування характеризує задоволеність абонентів обслуговуванням і визначається за кількістю підтверджених скарг на організаційні аспекти обслуговування абонентів по відношенню до кількості абонентів мережі оператора.

Аналіз скарг на технічні аспекти обслуговування дозволяє зробити висновки про незадовільну якість переданої мови, обривах зв'язку, неможливість виконати з'єднання на тій чи іншій ділянці мережі, а, отже, своєчасно усунути поява «вузьких» місць, виникнення аварійних ситуацій і перерахувати продуктивність системи. Для розрахунку показника безпосередньо враховується відношення кількості обґрунтованих скарг на технічні аспекти обслуговування, які надійшли в абонентську службу оператора за період рівний 12 міс., до загального кількості абонентів, зареєстрованих до моменту твору розрахунку.

Аналіз скарг, пов'язаних з організаційними питаннями обслуговування дає додаткове поняття про взаємодію окремих служб і мережі оператора в цілому, дає можливість дізнатися думку споживача про абонентське обслуговування і переглянути політику оператора в області тарифів, реклами та ін. Для розрахунку показника безпосередньо враховується відношення кількості обґрунтованих скарг на організаційні аспекти обслуговування, що надійшли в абонентську службу оператора за

період рівний 12 місяців, до загальної кількості абонентів, зареєстрованих до моменту проведення розрахунку.

Показники задоволеності абонентів обслуговуванням оцінюються по статистичній звітності оператора зв'язку. Вимоги абонентів до якості послуг передачі даних є невід'ємною частиною системи оцінки та управління якістю обслуговування в мережі мобільного зв'язку. Скарги, що надходять в центр абонентського обслуговування, аналізуються і враховуються в звітності. Статистична звітність використовується в подальшому для проведення внутрішнього або зовнішнього аудиту мережі. Аналіз скарг на технічні аспекти обслуговування дозволяє оператору налагодити зворотний зв'язок зі споживачем послуг в ланцюжку «оцінка - управління».

Всі наведені показники якості надання послуг та способи їх розрахунку засновані на експлуатаційних вимірах. Це означає, що ці вимірювання повинні проводитися з урахуванням вимог з боку кінцевого користувача (в умовах встановлення зв'язку між кінцевими користувачами і мобільної мережі з урахуванням необхідності тестування якості). Вважається, що кінцевий користувач (абонент) вміє користуватися своїм мобільним телефоном і тієї послугою, якою він хоче скористатися (оцінка параметрів працездатності самого пристрою в даному випадку не проводиться).

При вимірах параметрів якості передачі даних передбачається, що послуга в стані готовності і її використання не заборонено з якої-небудь причини:

1. Маршрутизація виконана правильно і без помилок;
2. Обладнання користувача на іншому кінці маршруту в ланцюжку «кінцевий користувач - кінцевий користувач» готове відповісти на виклик. Результати вимірювань якості передачі даних повинні бути оброблені з використанням відповідних методів статистичного аналізу, встановлених міжнародними стандартами, тільки для тих

з'єднань, які були успішно виконані. Разом з тим, дані з оцінками, які були отримані для з'єднань, що завершилися невдало (наприклад, були перервані), повинні бути доступні для додаткових розрахунків і, відповідно, повинні бути збережені і відображені в звітах про вимірювання якості послуг передачі даних.

Оціночні випробування можуть проводитися контролюючими органами, лабораторіями та центрами сертифікації, а також операторами зв'язку. При цьому оціночні випробування проводяться:

- контролюючими органами з метою перевірки діяльності оператора і підвищення якості послуг зв'язку періодично. Перевіряється відповідність значень показників якості нормального рівня (в Україні визначається нормативними документами Міністерства інфраструктури України);
- лабораторіями і центрами сертифікації при добровільній сертифікації послуг - з метою підтвердження рівня якості. Випробування проводяться під час сертифікації і при здійсненні інспекційного контролю;
- оператором зв'язку з метою контролю стабільності відповідності значень показників якості послуг нормативним значенням, встановленим документами (внутрішній аудит), встановлюються додаткові вимоги для забезпечення абонентам очікуваних значень показників якості, заснованих на міжнародних нормах на показники якості QoS. Випробування проводяться постійно або періодично.

2.2. Основні вимоги до параметрів мобільних мереж в контексті визначення якості передачі даних

Концепція системи QoS для мереж UMTS мобільного зв'язку 3-го покоління визначена в специфікації TS 23.107, і використовується також для мереж LTE 4-го покоління.

При розробці і впровадженні системи якості обслуговування до атрибутів такої системи пред'являються наступні загальні вимоги:

- кількість і значення атрибутів повинні бути такі, щоб забезпечити можливість багаторівневої градації користувачів;
- використання механізму QoS не повинно заважати політиці ефективного використання радіоресурсів, незалежного розвитку базової мережі та мережі радіодоступу;
- всі атрибути і їх комбінації повинні мати однозначно визначені значення.

Виходячи з перерахованих загальних вимог до якості обслуговування, в специфікаціях сформульовані конкретні технічні вимоги, що стосуються набору параметрів QoS:

- механізми QoS функціонують в рамках тимчасової (peer to peer) моделі організації зв'язку в межах "призначений для користувача термінал - мережевий шлюз", забезпечуючи взаємно-однозначну відповідність між мережевими послугами та зовнішніми додатками;
- управління якістю обслуговування здійснюється на основі кінцевого, по можливості, мінімального набору параметрів QoS, що підтримують ефективне використання радіоресурсів, а так-же асиметричне функціонування наскрізних каналів;
- методи управління QoS реалізуються на основі послідовних сесій, стосовно пакетної передачі даних, в тому числі, до мультипоточної передачі, коли кілька різних потоків мають одну і ту ж адресу;

- мережеві погіршення і ускладнення, викликані впровадженням системи якості обслуговування, повинні бути по можливості мінімізовані, також, як і кількість додаткової інформації, збереженої і переданої в мережі;
- користувальницькі додатки повинні мати можливість індикації значень QoS при передачі даних в різних мережевих вузлах;
- система якості обслуговування повинна бути динамічною, що дозволяє змінювати параметри QoS протягом активної сесії.

Розглянемо архітектуру системи якості обслуговування і передачу послуг в рамках такої системи, розглядаючи випадок, коли зв'язок здійснюється між кінцевим обладнанням, що підключене до призначеного для користувача терміналу мобільної мережі, і термінальним обладнанням, розташованим у зовнішній пакетній мережі (рис. 2.1).

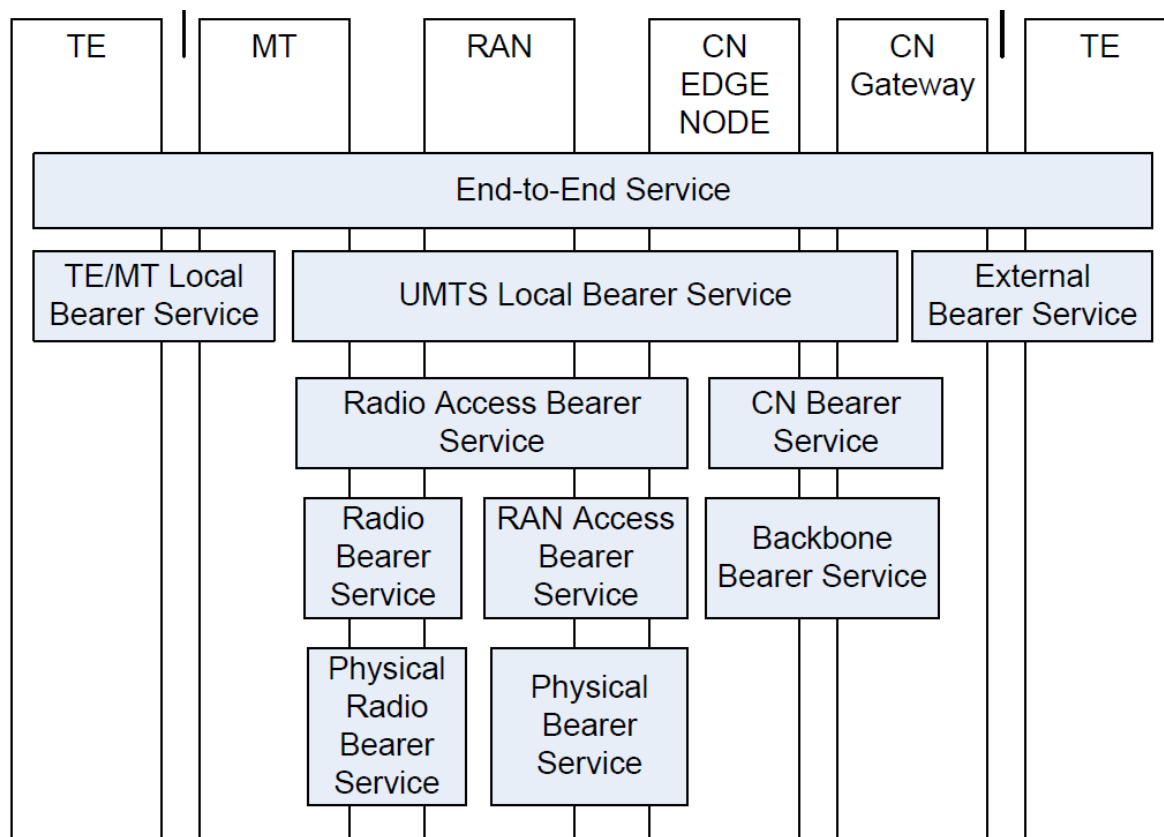


Рисунок 2.1 – Архітектура системи якості обслуговування

Аналогічно поняттю наскрізного каналу вводиться поняття «наскрізної послуги» (end-to-end service) як послідовність дій між двома кінцевими користувачами і, відповідно, частин послуг - по їх відношенню до певних мережевих складових: в локальному каналі "кінцеве обладнання-термінал" (Terminal Equipment / Mobile Terminal local Bearer Service), в каналі мережі LTE (LTE Bearer Service), у зовнішньому каналі (External Bearer Service). Таким чином, виникає багаторівнева взаємодія при передачі послуги даних-трафіку в різних мережевих вузлах і на різних рівнях. Передача послуги даних-трафіку в мережі LTE розглядається, відповідно до мережевої архітектури, окремо в мережі радіодоступу (Radio Access Bearer Service), де забезпечується конфіденційна передача користувацьких даних або із заздалегідь обраним або встановленим за замовчуванням рівнем якості обслуговування, і в базовій пакетній мережі (Core Network Bearer Service), також здатної підтримувати різні рівні якості обслуговування.

Послугу передачі даних в мережі радіодоступу реалізують двома рівнями: в радіоканалі (Radio Bearer Service) і в механізмі радіодоступу (Access Bearer Service). Реалізація послуги передачі даних в радіоканалі містить всі аспекти, що стосуються передачі даних по радіоінтерфейсу, включаючи сегментації та повторне складання призначених для користувача пакетів. Крім того, на фізичному рівні (Physical Radio Bearer Service) здійснюється управління підпотоків призначених для користувача даних. Механізм радіодоступу забезпечує на фізичному рівні (Physical Bearer Service) передачу даних між мережею радіодоступу та базовою мережею. Нарешті, проходження послуги в "магістральному" каналі (Backbone Network Bearer Service) розглядається в функціональній сукупності рівнів 1 і 2 та призначеними вимогами якості обслуговування.

Перерахуємо і коротко опишемо основні функціональні елементи мережі LTE, що стосуються управління якістю обслуговування. У користувацькій площині такі функціональні елементи призначені на

підтримку призначеного для користувача трафіку даних і сигналізації з певними обмеженнями, встановленими параметрами QoS.

Функція відображення (MF, Mapping Function) забезпечує розподіл кожного призначеного для передачі пакета даних відповідно до параметрів QoS.

Функція класифікації (CF, Classification Function) призначена для виставлення пакетам даних параметрів QoS, призначених для певного типу трафіку, в тому випадку, якщо для цього типу трафіку в мережі встановлено кілька каналів передачі послуг.

Функція управління ресурсами (RMF, Resource Manager Function) розподіляє доступні ресурси між послугами відповідно до параметрів QoS.

Функція узгодження (очистки) трафіку (TCF, Traffic Conditioner Function) забезпечує узгодження між потоком користувацьких даних і встановленим рівнем якості обслуговування.

Ті пакети даних, які не відповідають визначеним параметрам QoS, будуть відкинуті або позначені як невідповідні для подальшого відкидання після накопичення. На рис. 2.2 показано взаємодію функцій управління якістю обслуговування в площині користувача.

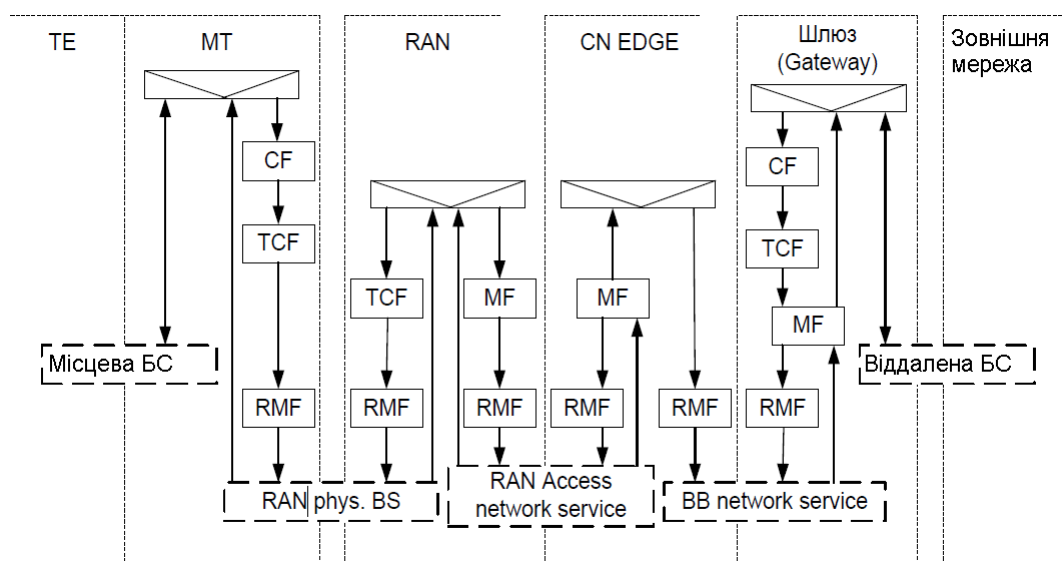


Рисунок –2.2 Функції управління якістю передачі даних в площині користувача

Функція класифікації призначає пакети даних, отриманих з зовнішнього (або локального) каналу в послугу мережі LTE з відповідними параметрами QoS. Функція узгодження трафіку, при необхідності, забезпечує узгодження призначеного для користувача потоку в висхідному і низхідному напрямках з встановленими параметрами QoS. Далі, функція відображення позначає кожен пакет даних спеціальним QoS-індикатором, відправляючи його по мережі, при чому вимагає виділення відповідних ресурсів - за це відповідальна функція управління ресурсами, реалізована в кожному мережевому вузлі. У площині управління, як зазвичай, зосереджені функції, необхідні для реалізації механізмів управління та контролю.

Функція управління послугами (SMF, Service Manager Function) є координуючою функцією при установці, модифікуванні і управлінні послугами, а також керує функціональними елементами управління якістю обслуговування в площині користувача.

Трансляційна функція (TF, Translation Function) перетворює внутрішні примітиви послуг мережі LTE в модулі різних протоколів взаємодіючих зовнішніх мереж, включаючи перетворення атрибутів послуг мережі LTE в параметри QoS протоколів зовнішніх мереж.

Функція управління можливостями (A/CCF, Admission/Capability Control Function) забезпечує інформацією про всі можливі ресурси мережевих вузлів, визначаючи при кожному запиті (або модифікуванні) послуги, чи можуть мережеві вузли забезпечити необхідні ресурси. Ця функція також контролює можливість надання самої послуги передачі даних, тобто чи реалізована в мережі запитувана послуга.

Функція управління підпискою (SCF, Subscription Control Function) забезпечує контроль доступу абонентів до користування різними послугами з необхідними параметрами QoS.

Взаємодія функцій управління якістю обслуговування в площині управління показано на рис. 2.3. Трансляційна функція перетворює службову інформацію, пов'язану із зовнішньою послугою, в примітиви внутрішньої послуги, включаючи і атрибути послуги.

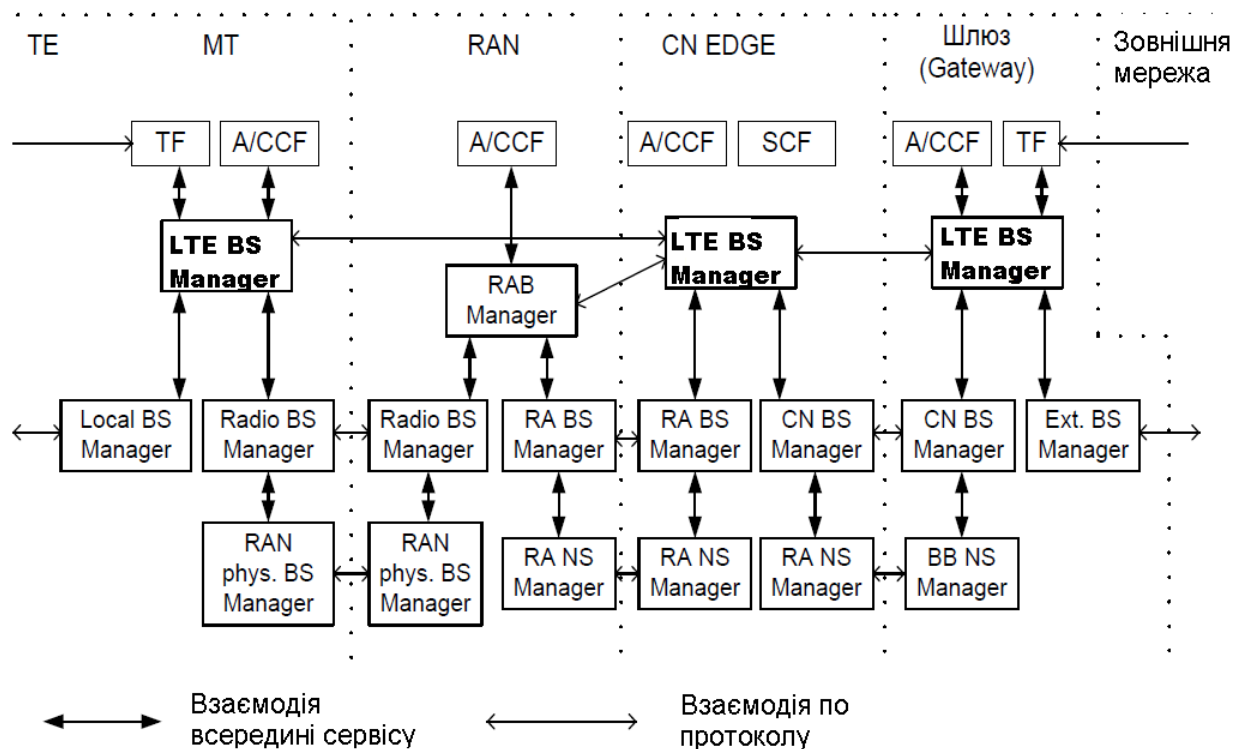


Рисунок 2.3 – Функції управління якістю передачі даних в площині управління

Функція управління послугою, локалізована в базовій мережі за допомогою трансляційної функції встановлює або модифікує послугу передачі даних, використовуючи при цьому пов'язану з нею функцію управління можливостями, з метою з'ясування наявності необхідних для даної послуги ресурсів, і функцію управління підпискою, для визначення прав користувача на цю послугу. Концепція надання послуг передбачає наявність чотирьох класів трафіку в мережах LTE:

- голосовий(розмовний);
- потоковий;
- інтерактивний;
- фоновий.

Основною відмінністю між названими класами є чутливість до затримок: найбільш чутливим є голосовий трафік VoLTE, найменш чутливим - фоновий трафік. Голосовий і потоковий класи призначені для використання в реальному масштабі часу. Інтерактивний і фоновий класи використовуються для традиційних інтернет-додатків: інтернет-навігація, електронна пошта, і ін. При цьому трафік інтерактивного класу має більш високий пріоритет, ніж трафік фонового класу. Коротко розглянемо особливості послуг різних класів.

Найбільш часто використовуваним видом послуг голосового класу є телефонна мова, причому, якщо в стандартах першого і другого поколінь, наприклад, традиційних мережах GSM, передача мови здійснювалася за допомогою каналної комутації, то, як вже сказано вище, в сучасних системах стільникового зв'язку мова передається пакетним способом (VoLTE, Voice over LTE), в тому числі, як складова відеоспілкування. При цьому трафік є симетричним (або майже симетричним). Особливості людського слуху і зору при здійсненні сеансу зв'язку в реальному часі пред'являють досить жорсткі вимоги до якості мовного потоку. Фундаментальними характеристиками QoS в даному випадку є фіксована, по можливості, мінімальна часова затримка між окремими мовними пакетами в загальному мовному потоці, а також жорстко фіксована структура мовних пакетів. Суб'єктивні оцінки сприйняття мови показують, що наскрізна затримка мови не повинна перевищувати 400 мс - в іншому випадку розмова стає практично нерозбірливою.

Основним мовним кодеком, що використовується для передачі мови в мережах 4-го покоління є AMR (Adaptive Multi Rate) кодек. AMR кодек - це єдиний інтегрований мовної кодек з вісьмома висхідними швидкостями: 12,2 (GSM-EFR); 10,2; 7,40 (IS-641); 6,70 (PDS-EFR); 5,90; 5,15 і 4,75 Кбіт / с. Швидкості передачі визначаються мережею радіодоступу і не залежать від мовної активності. Для покращення сумісності з існуючими мобільними

системами деякі з режимів обрані такими ж, що і у існуючих стільникових мереж минулих поколінь. Мовний кодек AMR зі швидкістю передачі 12,2 Кбіт / с відповідає кодеку EFR в GSM, зі швидкістю передачі 7,4 Кбіт / с - кодеку US-TDMA, а зі швидкістю передачі 6,7 Кбіт / с - кодеку PDS. Мовний кодер AMR може по команді перемикає швидкість передачі даних в кожному мовному кадрі довжиною 20 мс, що відповідає 160 відлікам при частоті дискретизації 8 кГц. Для переключення режимів AMR обрані два способи: управління по каналах мережі або з використанням виділеного каналу.

Схема режимів багатошвидкісного кодування являє собою так званий алгебраїчний метод кодування і лінійного передбачення (ACELP, Algebraic Code Excited Linear Prediction). Багатошвидкісний кодек ACELP позначається MR-ACELP. За кожні 20 мс мовний сигнал аналізується для отримання параметрів моделі CELP (коефіцієнтів фільтра з лінійним передбаченням, адаптивних і фіксованих складових вектора збудження і їх коефіцієнтів). Біти з параметрами мови, передані кодуючим пристроєм мови, перерозподіляються відповідно до їх суб'єктивної важливості передачі по мережі. Перерозподілені біти потім сортуються з урахуванням їх чутливості до помилок і діляться на три класи: А, В і С. Клас А є найбільш вразливим, і в радіоінтерфейсі використовується найпотужніше каналне кодування для бітів класу А.

Прикладами послуг потокового класу, які характеризуються яскраво ви-вираженою односпрямованістю, є перегляд відео або прослуховування звукового додатка в реальному часі. Для таких послуг також характерна фіксована тимчасова затримка між окремими потоками звукових або відеоданих, проте будь-які вимоги на мінімальну тимчасову затримку відсутні. Для успішної реалізації потокової послуги приймальний термінал (точніше, реалізоване в ньому програмно-апаратне забезпечення), повинен мати здатність збирати, обробляти і посилати дані в вигляді стійкого потоку

згідно з алгоритмами, реалізованими в прикладних програмах. Такі поточкові додатки, як уже було сказано, є вельми асиметричними і, тому, стійкими до більш тривалої затримки, ніж симетричні діалогові системи. Це означає також, що вони допускають більшу змінну затримку - так званий джиттер, котрий легко згладжується за допомогою буферизації.

Послуги інтерактивного класу призначені для сприйняття як людиною, так і механізмами і пов'язані з отриманням даних від віддаленого обладнання. Прикладами таких послуг є інтернет-навігація, пошук в базі даних, послуги доступу, а також різні механізми машинної взаємодії. Інтерактивний клас характеризується наявністю послуг типу "запит-відповідь", а також транспарентною (прозорою) передачею пакетів даних. При цьому ключовим параметром тут є затримка, пов'язана з підтвердженням прийому. Прикладом інтерактивної послуги є комп'ютерна гра в інтерактивному режимі. Однак, залежно від характеру гри, тобто наскільки активно ведеться передача даних, може виявитися так, що таку гру можна віднести і до мовного класу, виходячи з вимог до максимальної наскрізної затримки.

Нарешті, послуги фонових класу типові при забезпеченні зв'язку між різними механізмами: електронна пошта, прийом звітів про вимірювання, автоматичне заповнення баз даних і т. п. Головною особливістю таких послуг є те, що в них, як правило, використовуються дані з практично необмеженим часом існування, тобто в місці призначення не очікують надходження даних в певний час. Інша особливість полягає в тому, що немає необхідності пакети передавати прозорим способом - вони просто повинні бути прийняті без помилок. Одним із прикладів послуг фонових класу, які поступово набувають все більшого і більшого поширення, служать електронні поштові листівки. Отже, існують мережеві послуги різних класів, які необхідно додатково атрибутовувати в системі якості про-

вання. Перерахуємо список параметрів QoS, за якими здійснюється відносна градація користувачів:

1. *Трафіковий клас* (голосовий, потоковий, інтерактивний, фо-новий).
2. *Максимальна швидкість передачі даних* (в Кбіт / с). Даний параметр визначає максимальну кількість біт, що доставляються мережею LTE (або в мережу LTE) за певні інтервали часу.
3. *Гарантована швидкість передачі даних* (в Кбіт / с) визначає гарантовану кількість біт, що доставляються мережею за визначений інтервал часу.
4. *Порядок доставки* (Так/Ні). Параметр, що показує, чи забезпечує наскрізний канал послідовну доставку пакетів даних чи ні. Фактично даний параметр показує відмінність протоколу передачі даних від призначеного для користувача PDP-протоколу.
5. *Максимальний розмір* (в байтах) *пакетів даних*, (SDU, Service Data Unit). Даний параметр потрібно відрізнити від параметра MTU (Maximum Transfer Unit), що також використовується в стеку протоколів TCP/IP.
6. *Інформація* (в бітах) *про формат пакетів даних*, необхідна в мережі радіодоступу з метою забезпечення функціонування RLC-протоколу в прозорому режимі.
7. *Відносний рівень помилково переданих пакетів даних*. Параметр використовується для вибору належної схеми (модуляції / кодування) передачі даних по мережі радіодоступу.
8. *Залишковий коефіцієнт помилок*, що відображає число помилково переданих біт в доставлених пакетах даних. Також використовується для вибору належної схеми (модуляції / кодування) передачі даних по мережі радіодоступу.

9. *Можливість доставки спотворених пакетів даних* (Так / Ні).
Параметр використовується при прийнятті рішень про пересилання спотворених пакетів даних.
10. *Затримка передачі* (в мс) визначає допустиме відхилення значення затримки в мережі радіодоступу від загального часу затримки в наскрізному каналі серед 95% значень затримок доставлених пакетів даних протягом часу існування всієї послуги.
11. *Пріоритет в управлінні трафіком* відображає відносну важливість розглянутого потоку даних в порівнянні з іншими потоками. Параметр застосовується до послуг інтерактивного класу, дозволяючи вести диспетчеризацію трафіку.
12. *Призначення/зняття пріоритету*. Використовується для виявлення пріоритетних відмінностей між каналами передачі даних, коли виконуються операції з призначення та зняття каналів в умовах обмежених ресурсів.
13. *Статистичний дескриптор джерела* (мовного/невідомого). Мова має добре відомі статистичні параметри. Тому, з метою інформування про те, що пакети даних мають мовну природу, цей факт може бути експериментально (на основі підрахунку) виявлений в різних точках.
14. *Індикатор службової інформації* (Так / Ні), визначений тільки для послуг інтерактивного класу, показує природу інформації (службова або призначена для користувача) в прийнятих пакетах. Якщо індикатор встановлений в значення "Так", встановлюється найвищий пріоритет управління трафіком. Даний параметр є допоміжним в системі якості обслуговування.

2.3 Методики оцінки якості передачі даних в мережах мобільного зв'язку

Розглянемо методи вимірювань показників і розрахунку параметрів якості передачі даних в мережах рухомого зв'язку з комутацією пакетів. Перевірка показників якості пакетної передачі даних може проводитися випробувальними центрами при добровільній сертифікації послуг, територіальними центрами наглядових органів при перевірці ліцензійної діяльності операторів зв'язку або фахівцями операторів мобільного зв'язку при перевірці стабільності показників якості і розробці заходів для поліпшення роботи мережі оператора мобільного зв'язку.

Показники якості пакетної передачі даних вибираються і контролюються відповідно до внутрішніх регламентуючих документів операторської компанії. Для проведення оціночних випробувань якості пакетної передачі даних необхідно визначити:

- можливі маршрути передачі даних;
- статистичний розподіл потоків даних за маршрутами;
- загальну кількість випробувань;
- тестові інформаційні набори.

Загальна методика проведення випробувань аналогічна методиці проведення випробувань мереж мобільного зв'язку при внутрішньому аудиті. Слід мати на увазі, що якість передачі даних залежить від всіх етапів здійснення виклику або сеансу передачі. Для проведення тестових випробувань якості надання послуг бажане розбиття процесу визначення якості на окремі і незалежні етапи і ділянки вимірювань. Однак для остаточного визначення вони повинні бути приведені до спільного процесу забезпечення з'єднання або сеансу передачі.

Якість передачі даних в діалоговому класі Data Quality (DQ- CSD / DQ-PSD) характеризує якість наскрізної передачі даних послуги

діалогового класу і відповідної високошвидкісної дуплексної передачі даних в режимі, практично близькому до режиму реального часу. Показник розраховується, виходячи з таких умов:

1. Якість передачі даних між кінцевими користувачами визначається шляхом вимірювання середньої пропускної здатності мережі при передачі даних в обох напрямках в режимі негарантованої передачі.

2. Поточні вимірювання величини пропускної здатності мережі при передачі даних повинні бути оброблені і усереднені за тривалістю виклику/сеансу передачі і представлені в бітах в секунду.

3. Повинно бути проведено визначення:- мінімальної пропускної здатності для 10% загальної тривалості викликів/сеансів передачі даних;

- максимальної пропускної здатності для 10% загальної тривалості викликів / сеансів передачі даних і її найгірше значення;

- максимальної затримки, яка мала місце протягом усього часу виклику / сеансу обміну при передачі даних.

Визначення параметра DQ може бути проведено з використання виразів:

$DQ (\text{прийом абонентом A}) = \text{пропускна здатність [біт / с]},$

$DQ (\text{прийом абонентом B}) = \text{пропускна здатність [біт / с]}$

При розрахунках необхідно враховувати такі особливості і допущення:

- початком передачі конкретної послідовності даних необхідно вважати обмін пакетами, заздалегідь визначеного виду даних між термінальними пристроями DTE абонентів А і В для даного виклику / сеансу передачі;
- з'єднання вважається завершеним і забезпечено передачу зразка даних після проведення розрахунку середньої пропускної здатності при передачі зразка даних для даного виклику / сеансу передачі.

Показник якості передачі даних між кінцевими користувачами в інтерактивному класі (DQ-CSD) визначається шляхом вимірювання інтервалу часу, необхідного для завантаження в абонентський пристрій DTE абонента А певних файлів з фіксованим обсягом даних, які запитуються абонентом А за допомогою посилки запиту на сервер передачі даних. Цей параметр відноситься до дуплексної передачі даних в режимі без забезпечення гарантії на час передачі (on a best effort basis). Визначення параметра DQ для інтерактивного класу знаходиться за формулою:

$$DQ=t_2-t_1, \quad (2.1)$$

де t_1 - момент часу, коли абонентський пристрій DTE абонента А посилає запит на передачу даних; t_2 - момент часу, коли абонент А отримує запитаний повний і неушкоджений файл (файли).

При розрахунках необхідно враховувати такі особливості і допущення:

-початком передачі конкретного запиту необхідно вважати момент початку передачі абонентським пристроєм DTE абонента А запиту на передачу даних;

-закінченням завантаження файлу (-ів) слід вважати момент, коли абонентський пристрій DTE абонента А прийняв неушкоджений файл (-ли).

2.4. Функціональна модель передачі даних (мультимедійного трафіку) в системах мобільного зв'язку LTE

На даний час технологія 3GPP Long Term Evolution (LTE) та її розвиток LTE-Advanced (LTE-A) є одними з ключових технологій для надання мобільного широкосмугового доступу до мережі Інтернет. В мережах LTE присутня можливість доставки потоків з різними вимогами до якості обслуговування: як потоків, що нечутливі до затримок (FTP, Web), так і потоків, що чутливі до затримок (VoLTE, відео-трафік). При

обслуговуванні потоків першого типу необхідно забезпечити максимальну швидкість передачі даних. При обслуговуванні потоків другого типу необхідно виконати наступні умови:

- забезпечити затримку передачі пакетів на рівні гранично допустимої;
- частка пакетів, для яких значення затримки передачі було перевищене, повинно бути менше граничного значення (зокрема для VoLTE ця частка складає 1%).

Можливість дотримання заданих вимог до якості передачі даних в мережах LTE істотно залежить від того, яким чином здійснюється планування передачі пакетів даних з використанням ресурсів радіоканалу. Алгоритм, що відповідає за планування радіоресурсів, називається планувальником. В джерелах наведена велика кількість планувальників, що призначені для обслуговування як потоків, що чутливі до затримок [21,22], так і потоків, нечутливих до затримок [22]. Планувальники пакетів розподіляють пакети даних між користувачами, реалізуючи потенційні можливості збільшення пропускної здатності і якості послуги за рахунок відслідковування коливань параметрів радіоканалів шляхом надання пріоритетного обслуговування для користувачів, радіоканали яких на короткому інтервалі часу мають кращі параметри і затримують обслуговування користувачів з гіршими умовами. Виграш в пропускній здатності (у середній сумарній швидкості передачі на сектор), який досягається при цьому, називають виграшем від багатокористувацького рознесення.

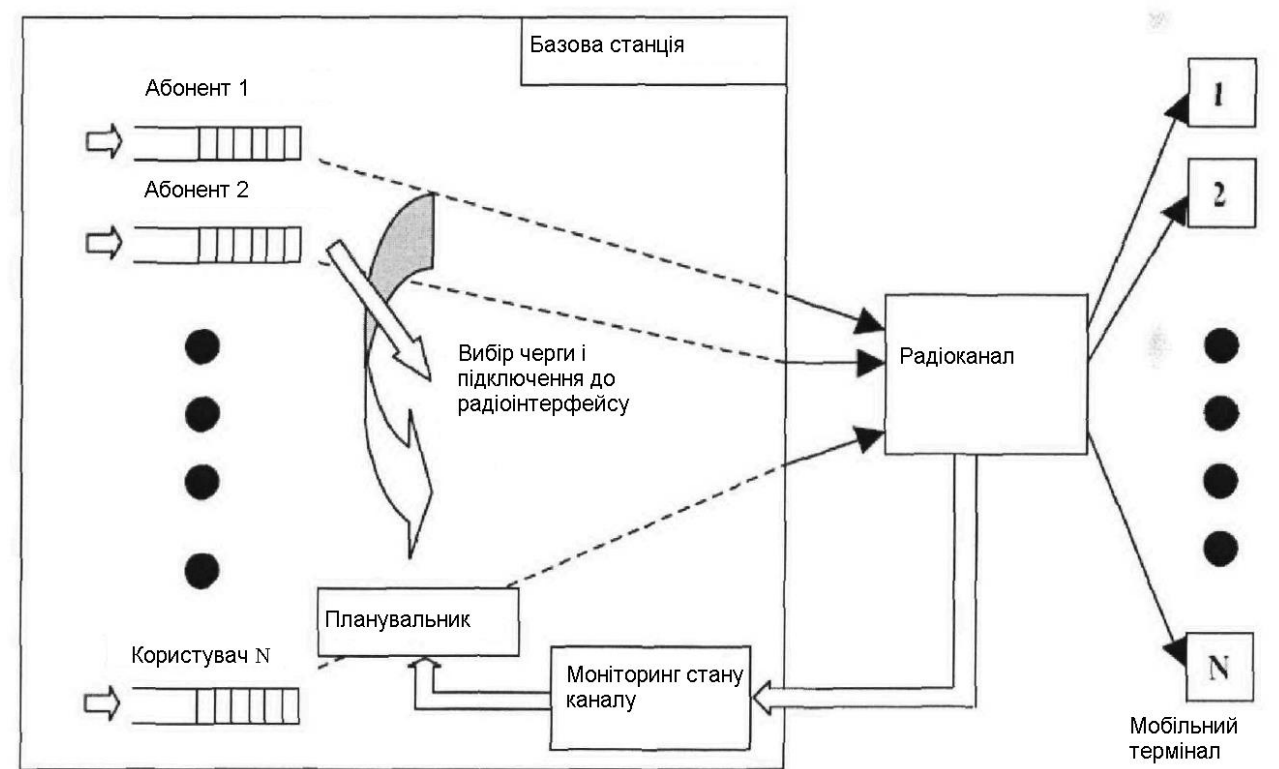


Рис.2.4 – Робота планувальника пакетів на лінії «вниз» із врахуванням стану радіоканалу

Вибір типу планувальника істотно впливає на ефективність системи та показники якості. Наприклад, для максимізації секторної пропускної здатності очевидним є застосування планувальника, в якому вибір користувача для обслуговування здійснюється по максимуму відношення сигнал / (шум + завада) на вході приймача (max SNR - maximum signal to noise ratio). Але при цьому обслуговування користувачів з «поганим» станом каналів може призупинитися, поки не підвищиться відношення сигнал / (шум + завада) на вході приймача. Отже, такий механізм планування не здатний підтримувати строгі часові відношення при наданні послуг, критичних до затримок (наприклад, VoIP або відеозв'язок), оскільки вибір параметрів затримок при обслуговуванні користувачів і максимізація секторної пропускної здатності є взаємозалежними. Неможливо отримати максимальну пропускну здатність і при цьому підтримувати рівні значення затримки для всіх користувачів.

2.5. Планувальників пакетів прямих каналів, алгоритми їх роботи і показники ефективності

Розглянемо планувальники пакетів, що реалізують алгоритми типу Round Robin, Equal Latency, Relative Fairness.

1. При роботі алгоритму Round Robin, часові слоти призначаються безпосередньо кожному користувачу один раз за період планування. Нехай в стільнику є N абонентських терміналів, тоді поточний i -ий часовий слот призначається n -му абонентському терміналу згідно з наступним принципом:

$$n = \{(i-1)/N - [i-1/N]\}N + 1, \quad (2.2)$$

де $(i-1)/N$ позначає дійсне число, округлене до найближчого меншого за значенням цілого числа.

Якщо тривалість часових слотів, наданих користувачам, однакова, то таке планування називають рівномірним і абонентському терміналу призначається швидкість з урахуванням стану радіоканалу. Робота планувальника показана на рис. 2.5

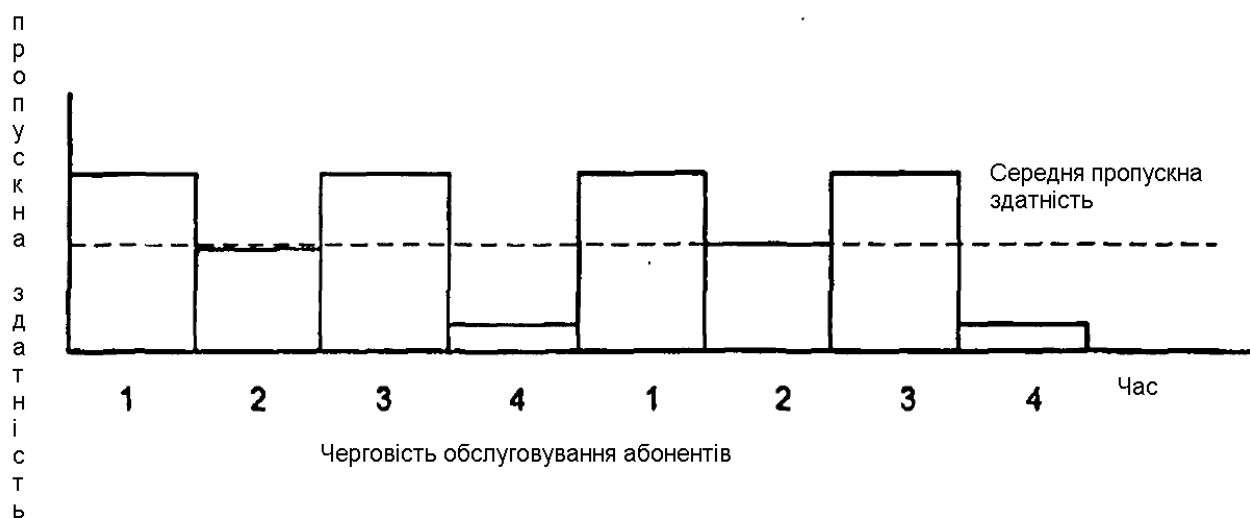


Рис. 2.5 Робота планувальника пакетів типу Round Robin (круговий рівномірний планувальник)

Припустимо, що в секторі всіх користувачів можна розділити на N класів за величиною сигнал / (шум + перешкода) на вході приймача абонентського терміналу i , відповідно, за величиною допустимої швидкості передачі даних на лінії «вниз».

Нехай користувачі класу n можуть приймати пакети зі швидкістю R_n кбіт / с. Імовірність того, що користувач належить до класу n , дорівнює P_n . Тоді середню швидкість передачі в секторі можна обчислити за формулою:

$$\sum_{i=1}^N P_n R_n, \quad (2.3)$$

Таким чином, планувальник типу Round Robin рівномірно розподіляє ресурси радіоканалу між активними користувачами, не бере до уваги ні якість каналів, ні величини затримок для різних користувачів.

При використанні даного алгоритму користувачі з меншими значеннями сигнал / (шум+завада) матимуть меншу швидкість передачі і більшу затримку. Якщо користувач класу n повинен передати B біт, то необхідний для їх передачі час дорівнюватиме B/R_n , а затримка – обернено пропорційна величині R_n .

2. При використанні алгоритму Equal Latency кількість часових слотів, яка повинна виділятися кожному користувачеві, обернено пропорційна швидкості передачі даних.

Нехай F_n – кількість часових слотів, що виділяються користувачеві класу n , де $F_n = k/R_n$ (де k -певна константа). Тоді середня швидкість передачі даних в даному секторі буде визначатися співвідношенням:

$$\frac{\sum_{n=1}^{P_n} P_n R_n F_n}{\sum_{n=1}^N P_n F_n} = \frac{1}{\sum_{n=1}^N P_n / F_n} \quad (2.4)]$$

3. Алгоритм Relative Fairness спрямований на максимізацію пропускну здатності, при цьому підтримується задане відношення максимальної і

мінімальної затримок L_{\max} / L_{\min} . Пропускна здатність визначається за формулою:

$$R_{\max} = \frac{\sum_{n=1}^{n_0} P_n + \sum_{n=n_0}^l P_n (L_{\max} / L_{\max})}{\sum_{n=1}^{n_0} P_n / R_n + \sum_{n=n_0}^l P_n (L_{\max} / L_{\max})}, \quad (2.5)$$

де $R_n \leq R_{\max}$ при $n \leq n_0$ та $R_n \geq R_{\max}$ при $n \geq n_0$, ймовірність того, що користувач належить до класу n , дорівнює P_n , користувачі класу n можуть приймати пакети зі швидкістю R_n , кбіт/с.

Використовуючи формули (2.3)- (2.5) можна оцінити пропускну здатність для різних алгоритмів планувальників пакетів, якщо знайти ймовірнісний розподіл P_n можливих швидкостей R_n , який пов'язаний з відношенням сигнал/(шум+завада) на вході приймача абонентського терміналу. Значення сигнал/(шум+перешкода) знаходимо за формулою

$$\frac{E_c}{N_t} = \frac{PL_0(r, \theta) / W}{N_0 + \sum_{n=1}^{18} PL_i(r, \theta) / W} = \frac{PK_0 r^{-l} / W}{N_0 + \sum_{n=1}^{18} P(r^2 + r_i^2 - 2rr_i \cos(\theta_i - \theta))^{-1/2} K_i / W} \quad (2.6)$$

де E_c - щільність потужності сигналу, яка припадає на один чіп;

N_i - сумарна спектральна щільність потужності теплового шуму і завади для розглянутого абонентського терміналу;

P і W - випромінювана потужність базової станції і смуга пропускання системи.

В знаменнику виразу (2.6) параметри r_i та θ_i є полярними координатами сусідньої базової станції. Вони визначаються згідно з моделлю мережі та наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Відстань і кут до базової станції, що є джерелом завад

| I | r_i | θ_i |
|-----------------|--------------|--------------|
| 1..6 | $R\sqrt{3}$ | $60(i-1)+30$ |
| $i > 6$ непарні | $3R$ | $30(i-7)$ |
| $i > 6$ парні | $2R\sqrt{3}$ | $30(i-7)$ |

Спростимо вираз (2.6) нехтуючи тепловими шумами:

$$\frac{E_c}{N_t} = \frac{K_0}{\sum_{n=1}^{18} J_i^{-l} K_i} = \frac{K_0}{\sum_{n=1}^{18} I_i} = \frac{K_0}{I}, \quad (2.7)$$

де N_t для абонентського терміналу з координатами (r, θ) -випадкова величина, розподілена за нормальним законом, що визначає характер завмирань на трасі; J_i -випадкова величина, розподілена за гаусівським законом, з математичним очікуванням m_i та стандартним відхиленням σ_i :

$$I_i = J_i^{-l} K_i = e^{\ln J_i^{-l} + Y_i}$$

Нехай $V_i = \ln J_i^{-l} + Y_i$ та $I = e^z$. Тоді математичне сподівання та дисперсія V_i відповідно обчислюються як:

$$E[V_i] = m_{V_i} = m_{Y_i} + \ln J_i^{-l} \quad (2.8)$$

$$\text{Var}(V_i) = \sigma_{Y_i}^2 \quad (2.9)$$

Застосуємо наступну системну модель:

-стільникової структура однорідна і має постійну щільність абонентського трафіку на території обслуговування;

-враховуються тільки логнормального завмирання рівня сигналу (короткочасні швидкі релеєські завмирання – не враховуються).

Втрати сигналів від i -ої базової станції до абонентського терміналу описуються формулою:

$$L_i(r, \theta) = D^{-l} K_i \quad (2.10)$$

де D – відстань між i -ою базовою станцією і абонентським терміналом; l – показник ступеня втрат на трасі (як правило від 3 до 4); K_i – випадкова величина, що має логнормальний закон розподілу ймовірності, математичне очікування рівне нулю і дисперсію σ_{K_i}

На рис. 2.6 деталізується модель досліджуваної мережі, де (r, θ) – полярні координати, що визначають положення абонентського терміналу щодо домашньої базової станції; r_i, θ_i – полярні координати i -ої сусідньої базової станції, що є джерелом завад.

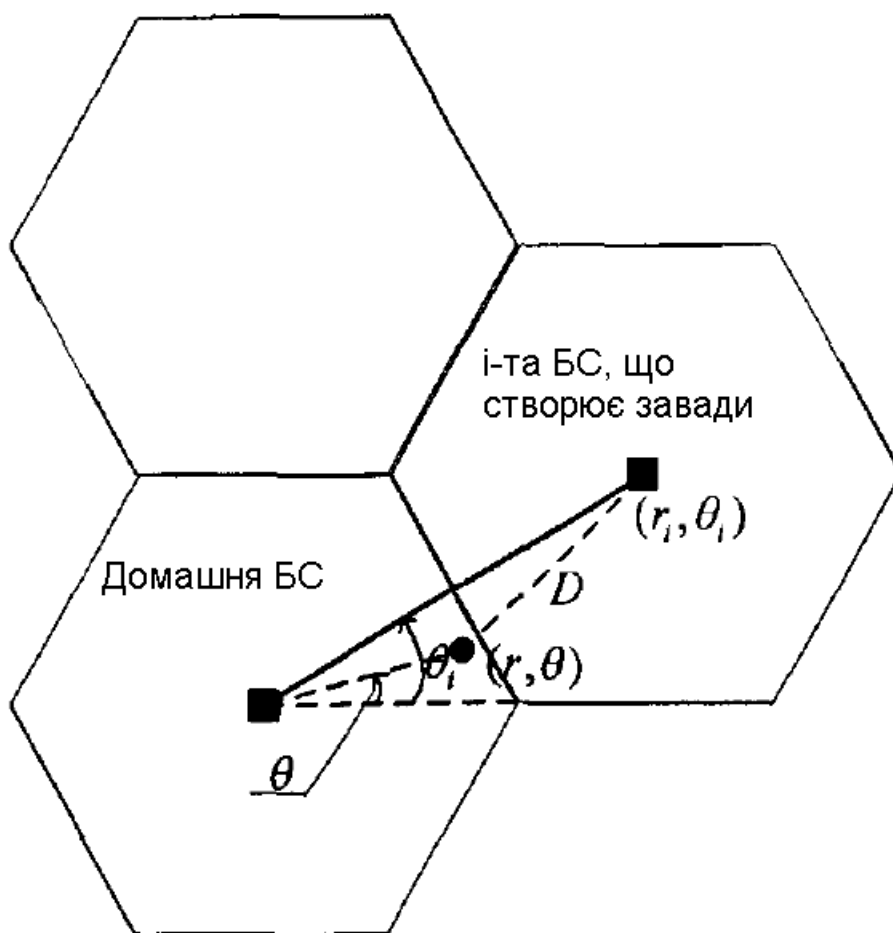


Рисунок 2.6 – Пояснення до системної моделі

З рис. 2.6 випливає, що формулу (2.11) можна перетворити до вигляду

$$L_i(r, \theta) = (r^2 + r_i^2 - 2r_i r \cos(\theta_i - \theta))^{-l} K_i \quad (2.11)$$

Нехай системна модель складається з 19 БС. Тоді математичне сподівання та дисперсія визначаються як:

$$E[I] = \sum_{i=1}^{18} e^{m_{v_i} + \sigma^2 v_i} \quad (2.12)$$

$$Var(I) = Var(e^{m_{v_1}}) + Var(e^{m_{v_2}}) + \dots + Var(e^{m_{v_{18}}}) \quad (2.13)$$

Відповідно до висновків, отриманих в роботах [33,34], зведемо вираз (2.13) до виду:

$$Var(Z) = \sqrt{\ln\left(\frac{Var(I)}{E[I]^2 + 1}\right)} \quad (2.14)$$

Пропускную здатність системи при різних алгоритмах планування знайдемо, підставляючи розраховану ймовірність в формули (2.2) - (2.6).

У процесі аналізу для спрощення розрахунків розглядалися несекторизовані стільники (кут сектора приймався рівним 2π). Ймовірність надання певного класу швидкості наведено на рис.2.7.

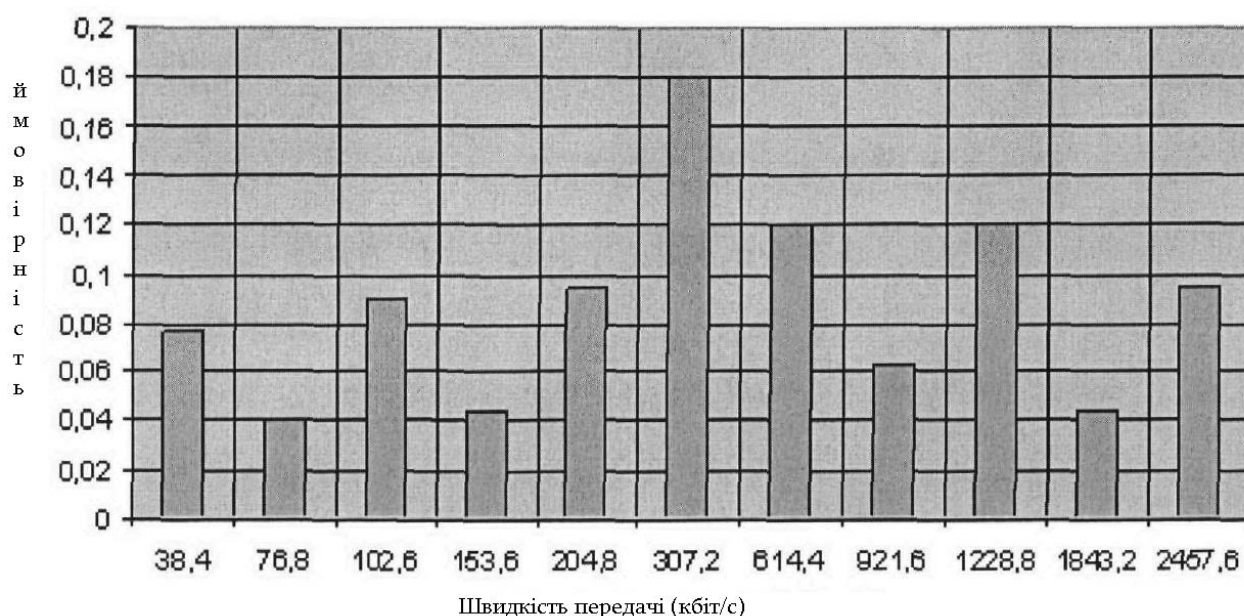


Рисунок 2.7 – Розподіл ймовірності для 11 класів швидкості

Описані в даному розділі алгоритми планувальників пакетів можуть бути модифіковані з метою диференціації користувачів за якістю обслуговування (Interuser QoS) шляхом введення вагових коефіцієнтів.

2.6 .Висновки з розділу 2:

В даному розділі проаналізовано системи, алгоритми і методики управління якістю передачі даних в мережах мобільного зв'язку при передачі мультимедійного трафіка. Зокрема досліджено:

1. Стандартні системи управління якістю обслуговування, включаючи системи управління якістю обслуговування в рамках концепції диференційованого обслуговування.
2. Проведено аналіз існуючих моделей забезпечення заданого QoS і підходів до оцінки показників якості обслуговування для трафіку реального часу. Проаналізовані механізми формування затримок і втрат у наскрізному з'єднанні і розроблена класифікація факторів, що враховуються при передачі трафіка даних і механізмів їх формування. Показано, що основна проблема в мультисервісних LTE мережах - забезпечення широкого діапазону показників якості обслуговування залежно від типу трафіка. Фундаментальними характеристиками QoS в даному випадку є фіксована, по можливості, мінімальна часова затримка між окремими пакетами в загальному потоці.
3. Основні види планувальників пакетів: планувальники типу Round Robin, Equal Latency, Relative Fairness та особливості їх застосування з метою максимізації пропускної здатності мережі. В наступному розділі дипломної роботи буде на практиці змодельовано алгоритми роботи планувальників пакетів для мережі мобільного зв'язку LTE-Advanced з використанням технології CoMP та досліджено переваги і недоліки планувальників різного типу з точки зору підвищення пропускної здатності мобільної мережі.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ ПЛАНУВАЛЬНИКІВ ПАКЕТІВ ЗА ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМ ПОКАЗНИКОМ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

3.1. Постановка задачі

Стандарт мобільного зв'язку LTE увібрав в себе цілий ряд удосконалень, які дозволили не тільки збільшити швидкість передачі даних в обох напрямках, а й істотно підвищити диференціації параметрів QoS (як inter-user QoS, так і intra-user QoS), розширити перелік послуг, що надаються. В системі використовуються більш короткі пакети, збільшено число градацій можливих швидкостей передачі, забезпечена можливість організації декількох RLP потоків для одного користувача [23-25].

Розглянемо модифікації безпосередньо пов'язані з проблемою підвищення якості при передачі даних.

Система LTE забезпечує підтримку кількох RLP (Radio Link Protocol) сесій на одну PPP сесію і тим самим дозволяє встановлювати різні рівні QoS в радіоканалі (як на лінії «вниз», так і «вгору») для різних додатків одного і того ж користувача. Цей тип диференціації QoS (intra-user QoS) забезпечується, завдяки механізму організації для різних додатків окремих потоків трафіку, які в стеку протоколів системи LTE обробляються по-різному. З цією метою для кожного потоку трафіку встановлюються унікальні ідентифікатори на фізичному рівні (на рівні лінку) і на рівні доступу до середовища (MAC, Media Access Control). Ідентифікатори дозволяють розподіляти ресурси радіоканалу між різними потоками на лініях «вниз» і «вгору» і тим самим забезпечити необхідні для кожного потоку параметри QoS як в радіоінтерфейсі, так і «з кінця в кінець» (end-to-end - E2E QoS). Параметри радіоканалу і параметри, що асоціюються з кожним класом додатків, визначаються за допомогою міток резервування

(Reservation Labels), якими обмінюються термінал абонента і мережа радіодоступу (RAN, Radio Access Network) в процесі ініціалізації потоку (додатку). В результаті цього обміну встановлюються параметри потоків на рівнях RLP і MAC з прив'язкою цих потоків до більш високих рівнів стека протоколів. Вимоги (параметри), які визначаються за кожною позначкою резервування, зберігаються в системі протягом часу існування кожного потоку трафіку і є основою для визначення різноманітних потоків трафіку при розподілі ресурсів різних дисциплін обслуговування відповідно до їх QoS профілю. Зокрема, ці параметри використовуються в процесі роботи планувальника пакетів на лінії «вниз», при розподілі потужності і інших ресурсів на лінії «вгору», при управлінні доступом в систему (admission control). Наприклад, потоки даних, що несуть чутливий до затримок і джиттеру VoIP, мають найвищий пріоритет, а дані типу best-effort - найнижчий. Коли планувальник пакетів вирішує питання про призначення наступного часового слоту, спочатку розглядаються VoIP-потоки і серед цих потоків вибираються ті, яким доцільно виділити часовий слот в першу чергу. При розстановці пріоритетів між VoIP-потокami, перш за все, береться до уваги час, протягом якого кожен потік чекає обслуговування. Потокам VoIP, які не обслуговувались досить довго, присвоюється найбільший пріоритет в порівнянні з іншими потоками даного типу. Потоки трафіку типу best-effort обслуговуються інакше, ніж потоки, що несуть VoIP. Головним критерієм оптимальності в цьому випадку є максимальна сумарна швидкість (aggregate throughput) при прийнятному рівні справедливості (fairness) розподілу ресурсів радіоканалу між різними користувачами і потоками даних. При цьому ресурси радіоканалу виділяються в першу чергу потокам даних (користувачам), які або мають найкращі умови в радіоканалі, або їм протягом значного часу часові слоти не виділялися і їх середня швидкість передачі даних за деякий інтервал часу

значно нижче, ніж у інших користувачів (потоків) при близьких в середньому параметрах радіоканалів.

Планувальник пакетів в системі LTE надає найвищий пріоритет чутливим до затримок потокам даних в порівнянні з потоками, які належать додаткам типу best effort. Таким чином, цей планувальник забезпечує своєчасну доставку пакетів VoIP та інших додатків з жорсткими вимогами до величини затримки, забезпечуючи високу якість мови і хороші параметри QoS.

Одночасно з цим планувальник враховує дані про параметри радіоканалів, що передаються абонентським терміналом на базову станцію, для максимізації середньої сумарної пропускної здатності (aggregate throughput).

Якщо розглядати трафік реального часу (real time traffic), то особливі вимоги пред'являються до затримок, які повинні бути нижче гранично допустимого рівня:

$$\Pr\{W_i > T_i\} \leq \delta_i, \quad (3.1)$$

де W_i -затримка в черзі при передачі пакета i -го абонента;

T_i -гранична затримка пакета i -го абонента в черзі;

δ_i -гранично допустима ймовірність перевищення W_i величини T_i .

Деякі класи трафіку вимагають підтримки середньої швидкості передачі (гарантованої швидкості) не нижче заданої. В цьому випадку вимога до швидкості передачі для i -го користувача задається нерівністю:

$$R_i \geq r_i \quad (3.2)$$

Як правило, алгоритми планувальників, призначених для обслуговування комбінованого трафіку Real time (RT) і Non real time (NRT) мають більш складну структуру.

Завданням планувальника МАС-рівня, дослідження роботи алгоритму якого є метою даної дипломної роботи, є підвищення якості

передачі даних за рахунок поділу ресурсів каналу базової станції між користувачами (абонентськими терміналами) і, відповідно, максимізації пропускної здатності. Ресурс каналу розбивається на ресурсні блоки. Основні цілі MAC-планувальника: підтримка якості обслуговування (QoS) і максимізація пропускної здатності. Чим гірше якість сигналу, тим більша кількість ресурсних блоків буде використана для передачі одного і того ж об'єму даних (на поточний момент в LTE, в т.ч. LTE-Advanced) використовуються такі схеми модуляції: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM [2]). Таким чином перед планувальником стоїть вибір між забезпеченням «справедливості» кількості інформації, переданої кожному окремому пристрою, і максимізацією загальної пропускної спроможності базової станції.

Одним з ключових поліпшень стандарту LTE-A Rel.11 є технологія «Coordinated Multi-Point» (CoMP). Користувачі, що знаходяться на межах сусідніх секторів, зазнають серйозного зниження потужності сигналу через ефект інтерференції. CoMP технологія дозволяє використовувати сусідні сектори для передачі того ж сигналу (або тієї ж інформації), що і обслуговуючий сектор. Технологія зачіпає тільки логічні канали для передачі користувацького трафіку. Так CoMP є інструментом для покращення покриття високошвидкісного доступу, пропускної здатності на межах секторів і загальної пропускної здатності системи. Координація між секторами може здійснюватися як в рамках однієї базової станції, так і між сусідніми базовими станціями.

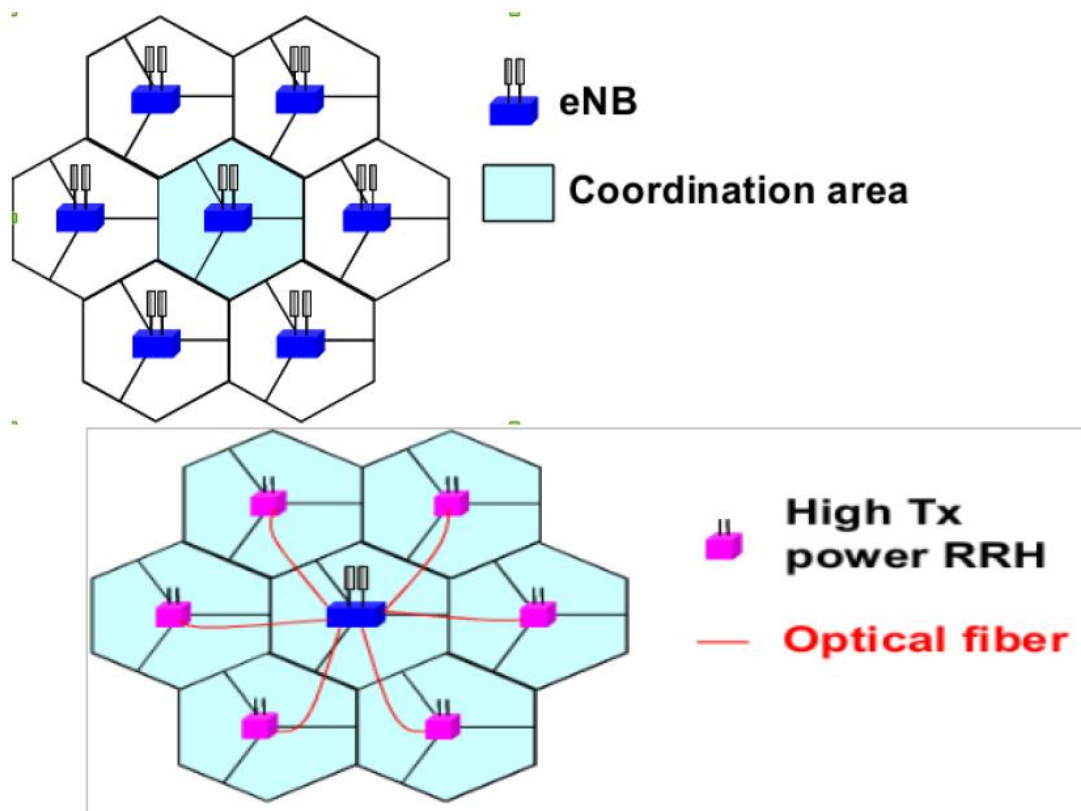


Рисунок 3.1 – Координація між секторами гомогенної мережі

CoMP-група - безліч секторів, що беруть участь в координуванні прямим або непрямим чином.

Прямі учасники: сектори, зайняті передачею даних щодо будь-якого мобільного терміналу. Другорядні (непрямі) учасники: сектора-кандидати на безпосередню участь, які не передають дані, але впливають на положення користувачів або формування сигналу, надаючи інформацію про якість каналу між ними і мобільним терміналом.

Категорії CoMP:

1. Координована передача (Joint Processing, JP): дані для передачі доступні декільком секторам CoMP-групи.

-спільна передача (Joint Transmission, JT): одночасна передача з декількох секторів. Безпосередні сектора формують або когерентний сигнал,

підвищуючи його потужність на межі секторів, або некогерентний сигнал, збільшуючи пропускну здатність.

-динамічний вибір сектора (Dynamic point selection, DPS):передача здійснюється тільки з одного сектора. Сектор може змінювати статус прямого / непрямого учасника на наступному слоті.

2. Координоване планування: трафік доступний тільки для одного сектора, але планування користувача або формування сигналу здійснюється з урахуванням даних, отриманих від непрямих учасників.

-напівстатичний вибір сектора (Semi-static point selection): слід зазначити, що для висхідного з'єднання можливі тільки варіанти «спільної передачі» і «координованого планування». Для функціонування CoMP необхідно, щоб базові станції були синхронізовані по частоті і часу. Прийняття рішення про те, які сектори будуть брати безпосередню участь в передачі, виконується підсистемою MAC-планувальника. В ході дослідження учасники консорціуму провели неоднократні програмні тестування і польові випробування технології CoMP [16]. Основна роль в даних роботах і наукових публікаціях [8] [9] [17] відведена сценаріям розгортання CoMP системи і отриманим результатам. Опис програмного забезпечення (в т.ч. алгоритмів MAC-планувальника) зазвичай опускається, оскільки є безпосередньою інтелектуальною власністю компанії. Стандарт ж лише обумовлює взаємодію різних елементів мережі, залишаючи деталі реалізації самим виробникам. Так на момент написання даної роботи серед проектів з відкритим вихідним кодом був знайдений тільки один мережевий симулятор, що підтримує технологію CoMP (тільки «координоване планування») стандарту LTE-Advanced [6] [14]. Оскільки варіант CoMP-спільна передача» (JT) вимагає більших витрат для симуляції фізичного, ніж програмного рівня, наступною категорією, яка представляє найбільший інтерес, є динамічний вибір сектора (DPS).

Постановка задачі:

- проаналізувати роботу алгоритмів Downlink CoMP-технології з динамічним вибором сектору;
- методом програмної симуляції вивчити характеристики алгоритмів, що на даний момент використовуються при розробці планувальників пакетів MAC-рівня
- визначити умови, при яких доцільно використовувати технологію DL CoMP: DPS з використанням різних алгоритмів

3.2 Огляд симуляторів

Сьогодні велика увага приділяється симуляторам з відкритим вихідним кодом. З існуючих на даний момент мережевих симуляторів, що відносяться до вільного програмного забезпечення, симуляція LTE-Advanced в тому чи іншому вигляді присутня тільки у програмному симуляторі NS-3 [12] і SimuLTE [6], причому останній має досить складне визначення радіоінтерфейсу LTE. Навпаки, NS-3 відрізняється особливо високою відповідністю стандартам, які він реалізує, зокрема LTE; гранулярність аж до ресурсних блоків і 1 мс; багатий вибір моделей поширення хвиль в середовищі; гнучка система логування і структурування результатів симуляції. Симулятор NS-3 неодноразово спонсорував проектами Google Summer Of Code [15] і ESA Summer of Code in Space (European Space Agency) [7].

Варто зазначити, що реалізація MAC-планувальника в NS-3 відповідає специфікації FemtoForum API, якої дотримуються велика кількість виробників систем телекомунікацій [10] [13].

У зв'язку з численними перевагами NS-3 було вирішено проводити аналіз роботи алгоритму підсистеми MAC-планувальника саме на його базі.

3.3 Надбудова над симулятором NS-3

Реалізовувати всі необхідні для технології CoMP компоненти симулятора досить ресурсозатратно: зміні піддаються як фізичний, так і мережевий рівні LTE [1]. Тому найбільш доцільним рішенням буде емуляція CoMP компонент в постобробці результатів симуляції NS-3. Сконфігуруємо симулятор наступним чином. Для ситуації, в якій мобільний термінал знаходиться на межі секторів, на місці розташування такого терміналу буде симулюватися стільки терміналів, скільки бере участь в CoMP-групі секторів. Кожен такий віртуальний термінал буде працювати тільки з одним, поставленим йому у відповідність, сектором. Таким чином в результаті симуляції ми отримаємо набір даних про якість сигналу і швидкості передачі для мобільного терміналу для всіх секторів, з якими він міг в цей момент здійснювати передачу даних.

Отриманий набір подій (вимірювання якості каналу, рішення планування користувачів MAC-планувальником, передані пакети з урахуванням помилок через умови радіосередовища) буде поданий на вхід емулятору CoMP-компонент базових станцій. Емулятор буде обробляти події в тому ж порядку, в якому вони відбувалися при симуляції. Залежно від рішень CoMP підсистеми MAC-планувальника будет враховуватися тільки один віртуальний термінал в кожен момент часу. Так ми отримаємо результат, аналогічний симуляції, в якій мобільний термінал динамічно змінює сектор для передачі даних.

У постобробці дотримані затримки для передачі повідомлень між базовими станціями по X2 інтерфейсу і затримка на прийняття рішення CoMP-підсистемою до її виконання [1]. Інтерференція, що створюється однаково розташованими віртуальними терміналами, нівелюється за рахунок використання методу просторового повторного використання частот в режимі частот, що не перетинаються, для висхідного з'єднання.

Також в NS-3 CoMP-емулятор реалізований на мові C ++ за паттерном Event-Loop. CoMP компоненти можуть встановлювати собі тригери (таймери) на майбутній момент часу. Мається на увазі, що всі базові станції синхронізовані.

3.4 Опис тестового сценарію

У вузлах правильного трикутника розташовані базові станції, по 3 сектора кожна. Мобільний термінал перетинає межу секторів 1 і 2 (див.рис.3.2)

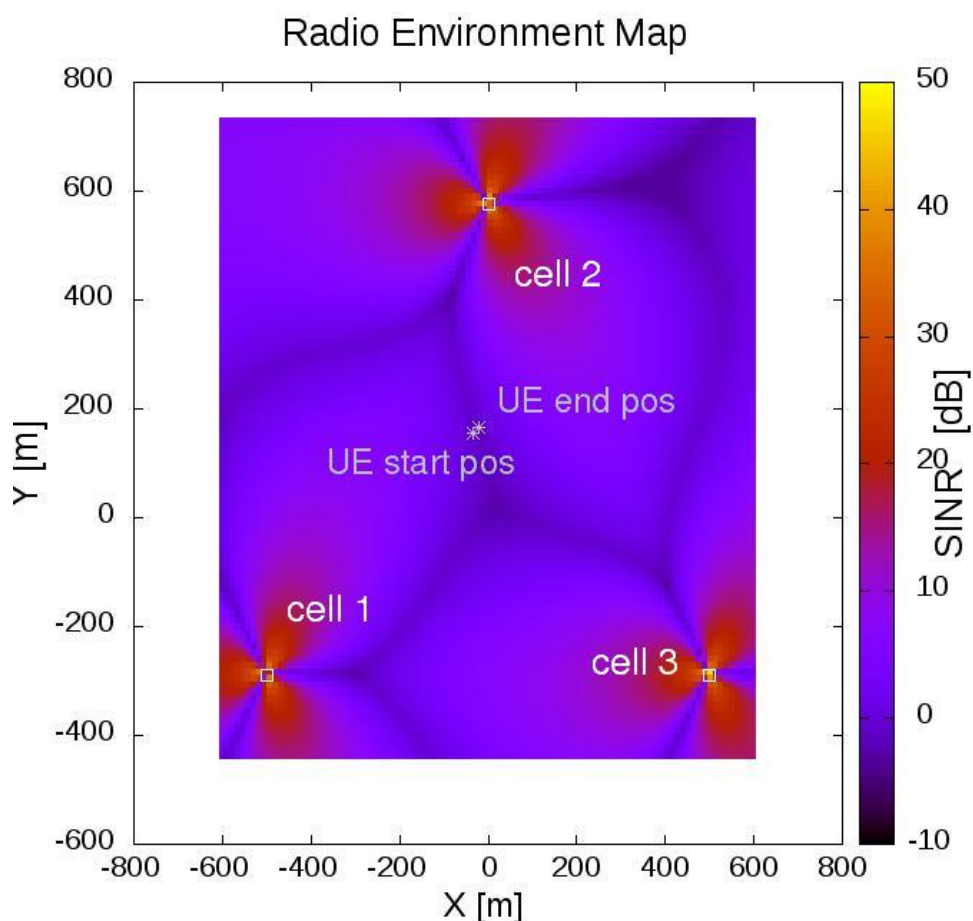


Рис. 3.2 Карта радіопокриття для тестового сценарію

Термінал рухається зі швидкістю 3 км / год. Загальний час симуляції - 20 секунд. Такий сценарій відповідає опису «A.1-2: Scenario 2- Homogeneous network with high Tx power RRHs »[1] Моделювання опорної мережі (core network) відсутнє: використовується генерація трафіку до насичення каналу.

3.5 Технічні деталі тестового сценарію:

- Використана модель розповсюдження сигналу: Friis-Propagation-Loss Model [12]
- Модель радіофону: «Annex B.2 in Ts 36.104: Pedestrian: with nodes 'speed of 3 kmph» (Рис. 3.3)
- Ширина низхідного, висхідного каналів: 25 ресурсних блоків
- Метод просторового перевикористання частот використовується при якості каналу $RSRQ \leq 18$, алгоритм розділяє смугу частот на 3 частини: сектора здійснюють передачу даних в усьому спектрі з помірною потужністю і з повною потужністю в виокремлених для них частотах (див. рис. 3.4).
- В якості базового MAC-планувальника використовувався алгоритм, спрямований на максимізацію пропускної здатності. У рамках тестового сценарію планувальник кожного сектора може запланувати тільки один термінал. Відповідно, всі доступні ресурсні блоки будуть використовуватися для передачі даних цьому терміналу.

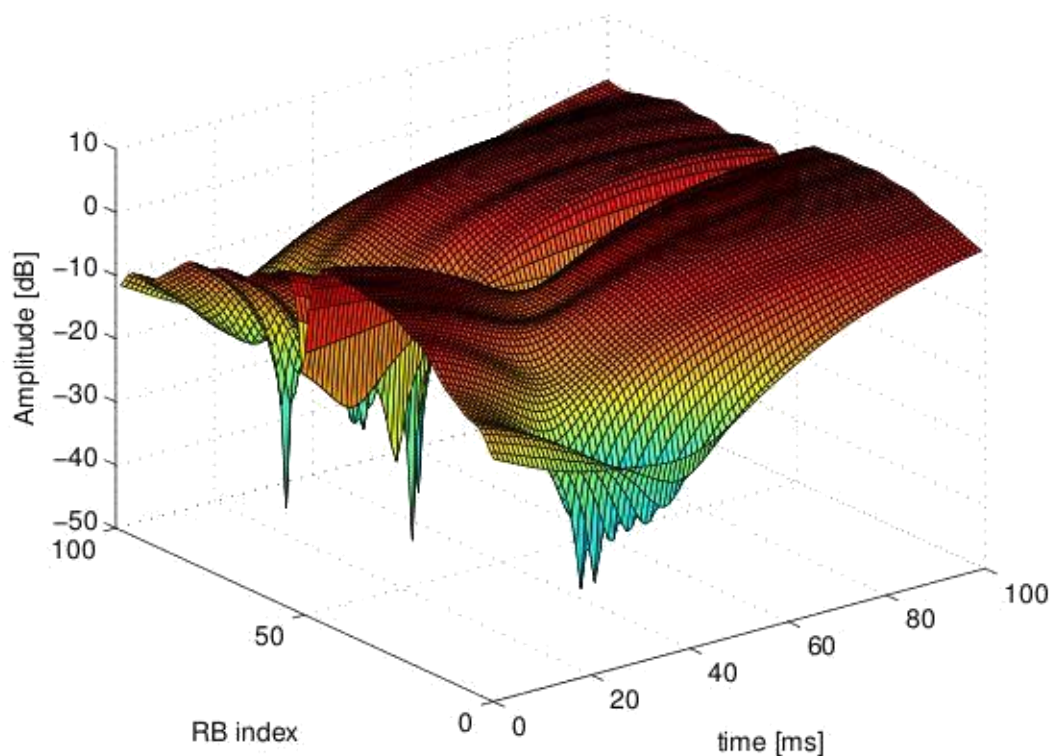


Рис. 3.3 Радіофон для тестового сценарію

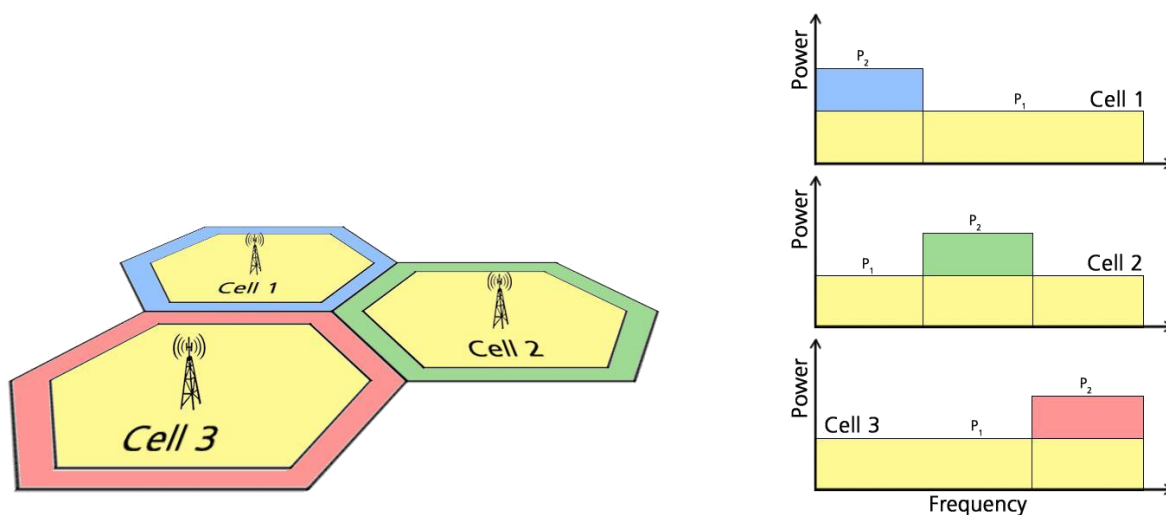


Рис.3.4. Механізм повторного використання частот

3.6 Опис CoMP підсистеми MAC-планувальника

Завданням CoMP підсистеми MAC-планувальника є визначення сектора, який буде брати безпосередню участь в передачі даних; участь інших секторів - другорядне (інформаційні сектори). Всі сектори CoMP-

групи збирають дані про якість з'єднання між ними і мобільним терміналом. Виходячи з цих даних CoMP-підсистема повинна планувати передачу з сектора з найкращими показниками потужності сигналу на приймачі мобільного терміналу.

Так як на всіх базових станціях CoMP-групи працює окрема копія CoMP-підсистеми, алгоритм є розподіленим. Визначимо для кожного користувача терміналу сектор-лідер. Сектори CoMP-групи будуть передавати інформацію про якість свого каналу лідеру, який буде приймати рішення про вибір безпосередніх учасників сесії передачі даних.

Залежно від інфраструктури LTE-мережі оператора (обчислювальні здатності базових станцій, пропускна здатність ліній передачі даних, топологія X2-інтерфейсу: зірка або mesh-мережа) сектором-лідером можна призначити або сектор базової станції з найкращим технічним забезпеченням, або обслуговуючий даний конкретний термінал сектор. Сучасний характер гетерогенних мереж LTE залишає місце для реалізації обох варіантів [1]. Будемо розглядати подальшу реалізацію для другого варіанту.

Опис взаємодії розподіленого алгоритму:

1. Ініціалізація: сектори, які беруть участь в CoMP-групі, визначаються оператором.
2. Підключення мобільного терміналу до сектору: сектор, до якого термінал здійснив підключення, призначається лідером відносно такого терміналу. Сектор-лідер сповіщає інших учасників CoMP-групи про нового кандидата для CoMP-обробки. Ведені сектори в залежності від завантаженості своєї мережі передачі даних і інших чинників підтверджують або відхиляють свою участь. При підключенні терміналу сектор-лідер є безпосереднім учасником CoMP-групи, а інші - другорядними. Другорядні учасники отримують звіти від мобільного терміналу про якість сигналу. Звіти можуть відправлятися з періодичністю 5, 10, 20 або 40 мс [4].

3. Хендовер або передача обслуговування мобільного терміналу: при здійсненні хендовера лідер повідомляє CoMP-групу про зміну лідерства на користь сектора, який отримав термінал в своє обслуговування (при відключенні терміналу або його переході в іншу CoMP-групу - про закінчення участі терміналу в CoMP-обробці)
4. Зміна статусу CoMP учасника (сектора): після прийняття рішення про необхідність перемикання передачі даних на будь-який з другорядних секторів лідер повідомляє безпосереднього учасника і обраний другорядний сектор про час перемикання. Перемикання планується на майбутній момент часу виходячи з середньої затримки пакетів по X2-інтерфейсу (або по опорній мережі, якщо CoMP система працює без X2-інтерфейсу) з деяким запасом. Так, наприклад, якщо затримка пакетів по X2-інтерфейсу становить 3 мс, то перемикання може бути заплановано на +6 мс щодо поточного часу.

3.6.1 Алгоритм вибору

Ядром CoMP-підсистеми є алгоритм вибору сектора безпосередньої передачі. Зібрані дані про якість з'єднання являють собою часовий ряд (статистичну інформацію, що мають деяку похибку). Природа радіоумов така, що потужність сигналу, який надійшов на вхід приймача мобільного терміналу, може зазнавати як короткострокових піків, так і довготривалих підвищень. Враховуючи, що переключення між секторами не відбувається миттєво і ще накладає додаткове навантаження на мережу, метою алгоритму вибору є максимізація пропускнуої здатності терміналу і мінімізація кількості перемикань.

3.6.2. Визначення показника якості алгоритму вибору

Найбільш важливим показником є середня пропускна здатність. У табл. 3.1 показані середня і максимальна пропускна здатність мережі для терміналу, постійно підключеного до конкретного сектору у весь проміжок часу симуляції.

Таблиця 3.1 –Пропускна здатність терміналу, підключеного до конкретного сектору

| Сектор | Max [Кб/с] | Average [Кб/с] |
|--------|------------|----------------|
| 1 | 3250.04 | 1305.74 |
| 2 | 2751.68 | 1101.37 |
| 3 | 3307.14 | 708.42 |

Щоб оцінити приріст пропускної здатності мережі, отриманий завдяки технології CoMP, визначимо величину:

$$Gain = \frac{AveCoMP}{AveStd} \times 100\%, \quad (3.3)$$

де *Ave CoMP*-середня пропускна здатність системи використанням CoMP, *AveStd* - середня пропускна здатність для сектора 1.

Крім того якість алгоритму вибору визначається кількістю перемикачів. Що менше перемикачів - тим краще, оскільки мережа зазнає меншого навантаження. Визначимо величину «якості алгоритму»:

$$Quality = 10 \times \frac{\Delta Throughput}{N Switches}, \quad (3.4)$$

де $\Delta Throughput = AveCoM P - AveStd$,

N Switches – кількість переключень між секторами за час симуляції.

Програмний симулятор NS-3 дає змогу використовувати декілька алгоритмів вибору(що базуються на вже розглянутих в розділі 2 алгоритмах Round Robin та Equal Latency), що мають відмінні характеристики, тому була проведена програмна симуляція для інтервалів отримання звітів про потужність сигналу 5, 10, 20 і 40 мс (допустимі значення періодичних звітів [4]).

3.6.3 Наївний алгоритм (алгоритм Round Robin)

При кожному оновленні (отриманні нового звіту від будь-якого з секторів) алгоритм робить вибір на користь сектора з найкращим поточним станом каналу. Результати представлені в табл. 3.2. Як видно, алгоритм показує приріст середньої пропускної здатності в 16.14% відносно вихідного значення AveStd при інтервалі звітів в 5 мс. При збільшенні інтервалів звітів показники якості значно знижуються. З'ясуємо, чому.

Таблиця 3.2 – Результати програмної симуляції для алгоритму вибору, заснованому на виборі сектора з максимальною потужністю сигналу

| Інтервал відліків [мс] | AveCoMP [Кб/с] | NSwitches | Gain | Quality |
|------------------------|----------------|-----------|---------|---------|
| 5 | 1516.46 | 759 | 116.14% | 2.776 |
| 10 | 1412.81 | 572 | 108.20% | 1.871 |
| 20 | 1259.54 | 359 | 96.46% | 1.286 |
| 40 | 1180.78 | 207 | 90.43% | 0.636 |

Розглянемо графік на рис.3.5. Графік ілюструє роботу алгоритму вибору CoMP (чорний пунктир). Зрозуміло, що чим рідше будуть приходити звіти про вимірювання, тим більше буде втрата швидкості передачі, тому що наївний алгоритм обирає сектор з максимальним сигналом, який міг виявитися короткочасною аномалією або похибкою вимірювань.

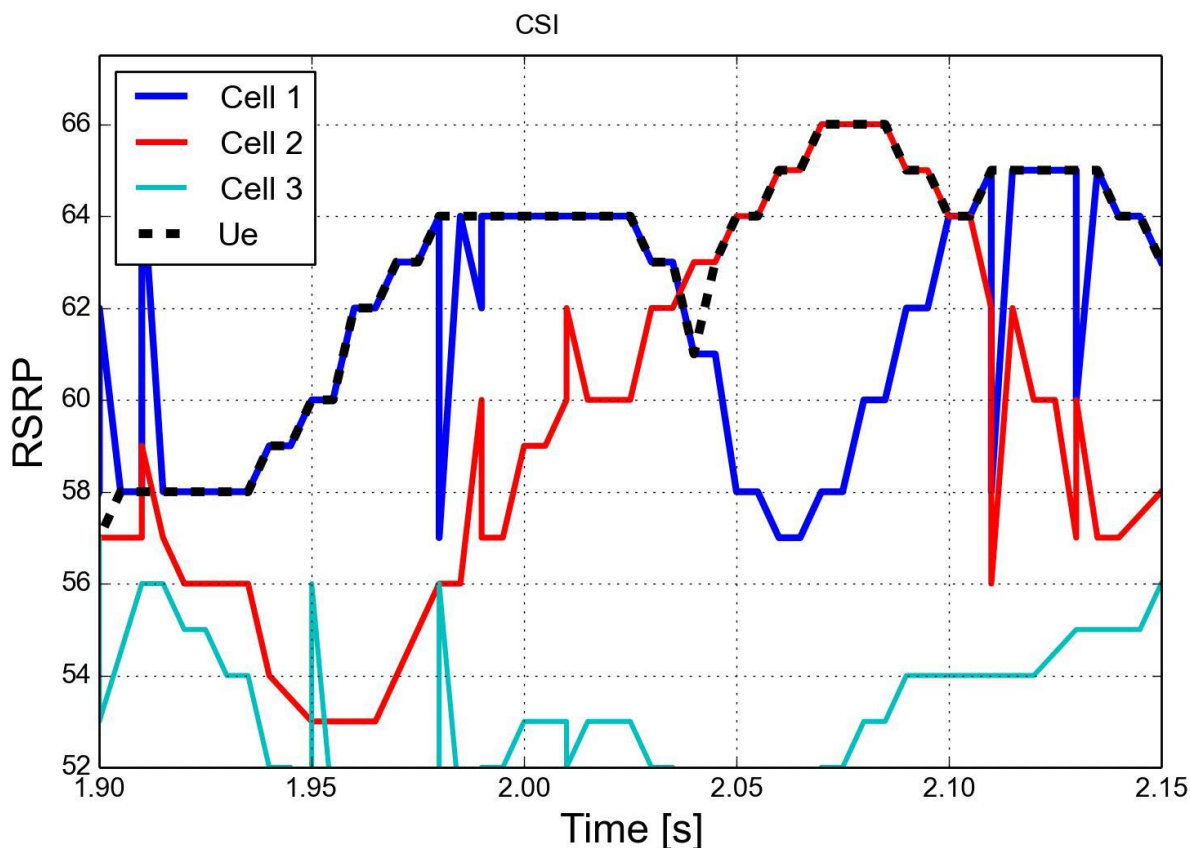


Рис. 3.5 Потужність сигналу різних секторів на приймачі. Чорним пунктиром показаний вибір CoMP алгоритму

3.6.4 Ковзне середнє

Суть завдання, поставленого перед алгоритмом вибору, полягає в прогнозуванні часових рядів. Основна складність в тому, що не можна покладатися на усереднене значення, отримане за весь час вимірювань, тому що тренд може істотно змінитися (термінал почав рух зі стану спокою та рухається рівномірно; термінал пішов із зони видимості сектора за ріг будинку і т.п.)

Алгоритми ковзних середніх дозволяють позбавитися від статистичних викидів і виділити загальний тренд від шуму середовища і похибки вимірювань. Проте завдання детектування сприятливих умов для перемикавання на інший сектор залишається рішенням алгоритму CoMP-

підсистеми. У дослідженнях ми керувалися прогнозуванням на один інтервал вимірювань з припущенням, що тенденція ковзного середнього збережеться.

Адаптивна змінна середня Кауфмана (КАМА) є однією з моделей експоненційного згладжування. Ця модель вирішує досить складну проблему вибору оптимальної ширини вікна для аналізу, адаптуючи його як для швидкої зміни тренда, так і стабільних значень. Однією з переваг моделі КАМА є відсутність необхідності зберігати історію вимірювань, оскільки ця модель обчислюється ітераційним шляхом. Результати симуляції представлені в табл.3

Таблиця 3.3 – Результати програмної симуляції для алгоритму вибору, заснованому на адаптивній ковзній середнього Кауфмана

| Інтервал відліків [мс] | AveCoMP [Кб/с] | NSwitches | Gain | Quality |
|------------------------|----------------|-----------|---------|---------|
| 5 | 1549.84 | 2556 | 118.69% | 0.955 |
| 10 | 1447.87 | 1447 | 110.89% | 0.982 |
| 20 | 1257.54 | 803 | 96.31% | -0.600 |
| 40 | 1185.57 | 493 | 90.80% | -2.437 |

Роботу КАМА моделі описує графік на рис. 3.6. Кольоровим пунктиром показані значення адаптивного ковзного середнього.

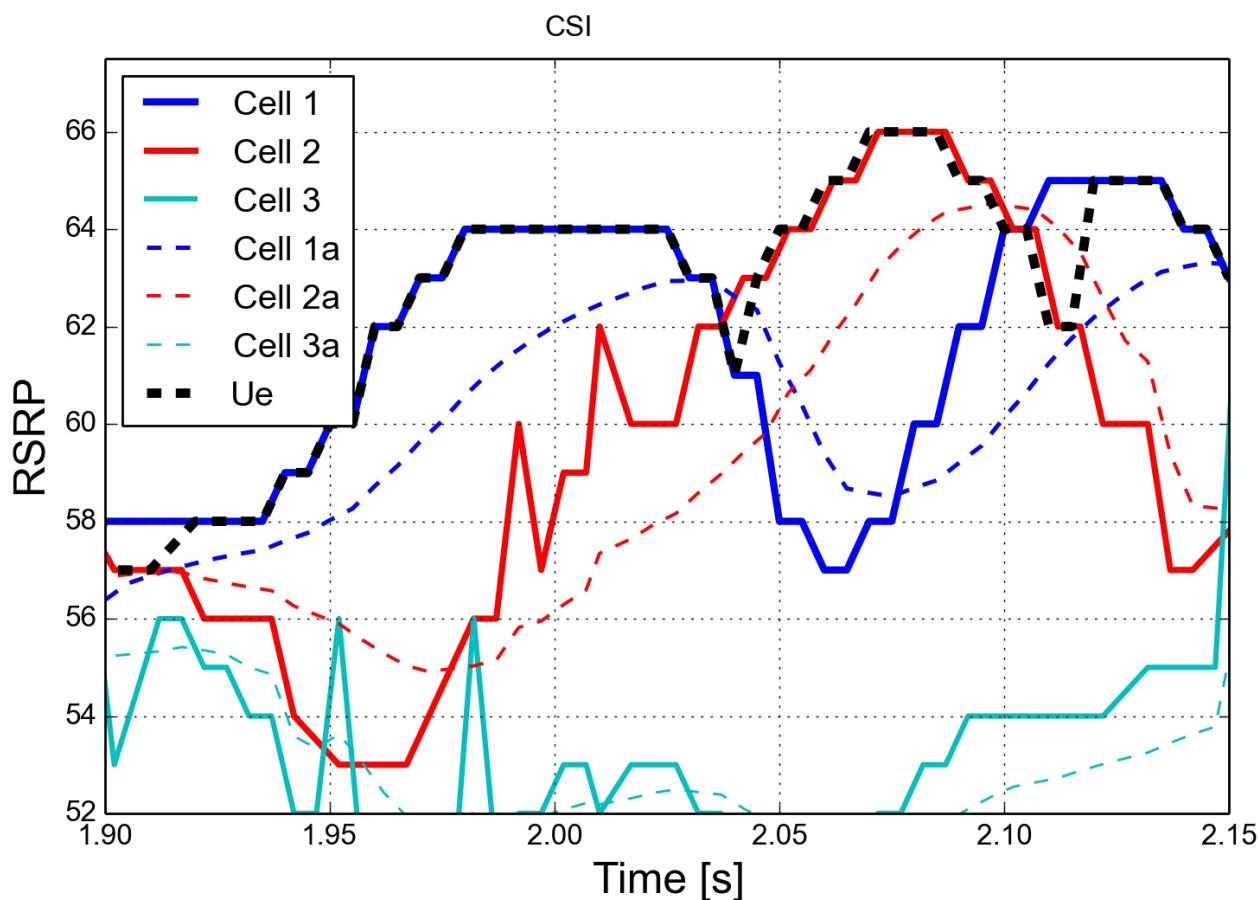


Рис. 3.6 Потужність сигналу різних секторів на приймачі. Чорним пунктиром показаний вибір CoMP алгоритму

3.6.5 Апроксимаційний алгоритм

Одним з методів регресійного аналізу є побудова апроксимаційного полінома. Для побудови полінома використовувалась бібліотека «GSL - GNU Scientific Library». Розмір вікна статистичних даних обирався окремо для кожного інтервалу отримання звітів про якість сигналу. Результати симуляції представлені в табл.3.4.

Таблиця 3.4 – Результати програмної симуляції для алгоритму вибору, заснованому на апроксимації

| Інтервал відліків[мс] | AveCoMP [Кб/с] | NSwitches | Gain | Quality |
|-----------------------|----------------|-----------|---------|---------|
| 5 | 1534.46 | 1244 | 117.52% | 1.838 |
| 10 | 1471.97 | 867 | 112.73% | 1.917 |
| 20 | 1345.98 | 568 | 103.08% | 0.708 |
| 40 | 1164.22 | 311 | 89.16% | -4.550 |

3.6.6 Аналіз результатів програмної симуляції

Графік виграшу за середньою пропускнуою здатністю представлений на рис. 3.7. Перш за все він показує, що для всіх випробуваних алгоритмів вибору був отриманий виграш за пропускнуою здатністю для інтервалів звітів про якість сигналу в 5 і 10 мс. Крім того, виграш за пропускнуою здатністю дає і для інтервалу в 20 мс алгоритм вибору, заснований на апроксимації. Отримані результати відповідають значенням, визначеними консорціумом 3GPP [1].

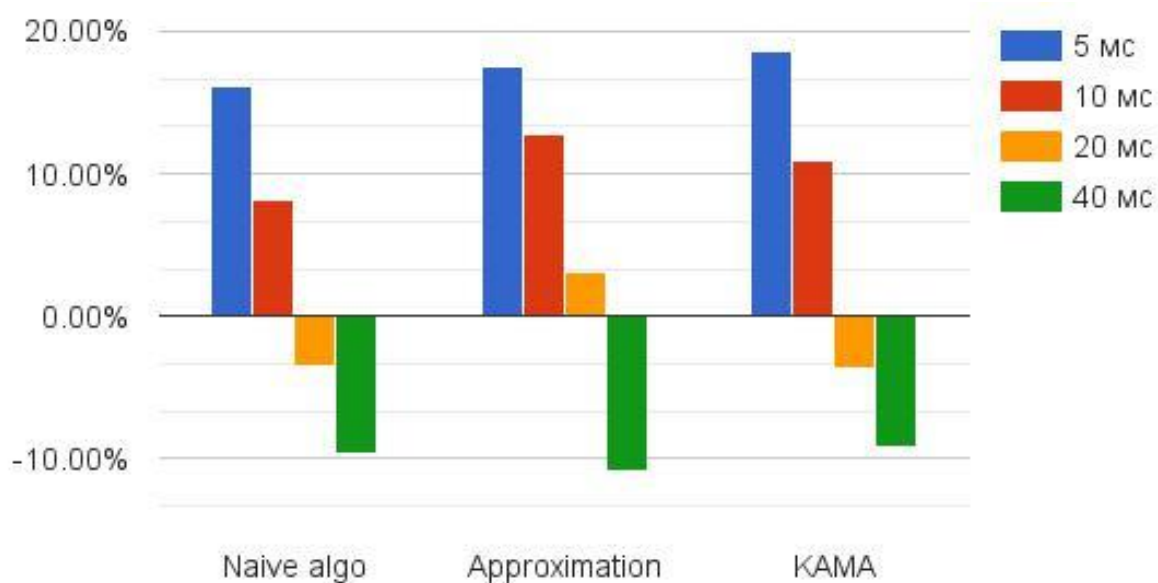


Рис. 3.7 Відносний виграш алгоритмів планувальників пакетів (за середньою пропускнуою здатністю)

Жоден з алгоритмів не втілює переваги технології CoMP при рідкісних звітах в 40 мс. Слід відзначити, що інтервал в 40 мс при значній різниці в потужності сигналу на приймальному пристрої є однією з умов виклику процедури передачі обслуговування терміналу на інший сектор (handover), яка може займати до 200 мс. [20].

Графік, який описує величину Quality показаний на рис.3.8.

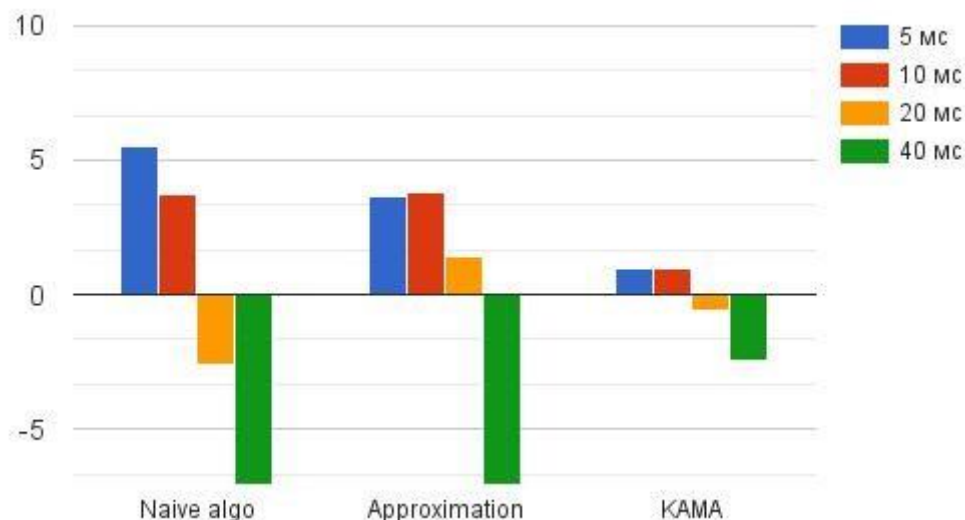


Рис.3.8 – Величина Quality для досліджуваних алгоритмів

Враховуючи цю характеристику, алгоритмом вибору за замовчуванням для CoMP-підсистеми MAC-планувальника варто використовувати метод апроксимації. Таким чином, метою алгоритму вибору є максимізація пропускної здатності терміналу і мінімізація кількості перемикань. Ця мета досягається при використанні планувальника пакетів CoMP-підсистеми з використанням апроксимуючого поліному. Планувальник пакетів з використанням апроксимуючого поліному в системі LTE надає найвищий пріоритет чутливим до затримок потокам даних в порівнянні з потоками, які належать додаткам типу best effort. Таким чином, цей планувальник забезпечує своєчасну доставку пакетів VoIP та інших додатків з жорсткими вимогами до величини затримки, забезпечуючи високу якість мови і хороші параметри QoS.

Одночасно з цим планувальник враховує дані про параметри радіоканалів, що передаються абонентським терміналом на базову станцію, для максимізації середньої сумарної пропускної здатності (aggregate throughput).

3.7 Висновки з розділу 3:

В результаті даного розділу дипломної роботи було проаналізовано показники та параметри якості передачі даних у мобільних мережах, вивчено алгоритми роботи планувальників пакетів, що використовуються в мережах мобільного зв'язку та протестовано методом програмної симуляції алгоритм для технології CoMP підсистеми MAC-планувальника базових станцій мереж LTE. Реалізація алгоритма виконана програмним симулятором NS-3. Вивчено різні варіанти реалізації алгоритму планувальника пакетів залежності від інфраструктури оператора. Проведено порівняння різних моделей аналізу часових рядів, які лежать в основі CoMP алгоритму, була створена метрика для оцінки їх ефективності.

В результаті програмної симуляції виявлені такі характеристики CoMP алгоритму: середня кількість перемикань між секторами, середній виграш за пропускною здатністю. Також були зроблені висновки про необхідні умови для використання даної технології (Coordinated Multi-Point: Dynamic Point Selection). Основні обмеження накладаються на інтервал звітів про якість радіоканалу між базовою станцією і мобільним терміналом.

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської дипломної роботи було вирішено наступні основні завдання:

1. Аналіз і систематизація еволюції мереж зв'язку, правових основ і принципів оцінки, контролю і управління якістю послуг зв'язку: вивчення стану проблеми управління якістю передачі даних в мережах мобільного зв'язку показує, що створення єдиної системи та нормування показників якості є найважливішим завданням на шляху формування цілісної системи взаємодії операторів мереж мобільного зв'язку, абонентів і контролюючих організацій.
2. Систематизація критеріїв і методик оцінки якості обслуговування абонентів при передачі даних: досліджено існуючі моделі забезпечення заданого QoS і підходів до оцінки показників якості обслуговування для трафіку реального часу. Проаналізовані механізми формування затримок і втрат у наскрізному з'єднанні і розроблена класифікація факторів, що враховуються при передачі трафіка даних і механізмів їх формування. Показано, що основна проблема в мультисервісних LTE мережах - забезпечення широкого діапазону показників якості обслуговування залежно від типу трафіка
3. Аналіз алгоритмів і методик управління якістю передачі мобільного зв'язку;
4. Дослідження алгоритмів і методик управління якістю послуг при передачі високошвидкісних даних в мережах мобільного зв'язку четвертого покоління: досліджено методику підвищення якості передачі даних за рахунок поділу ресурсів каналу базової станції між користувачами (абонентськими терміналами) і, відповідно, максимізації пропускної здатності.

5. Розгляд питань реалізації підвищення якості передачі даних в мережі мобільного зв'язку стандарту LTE-Advanced: в дипломній роботі досліджено та методом програмної симуляції алгоритм для технології CoMP підсистеми MAC-планувальника базових станцій мереж LTE. Реалізація алгоритма виконана програмним симулятором NS-3. Вивчено різні варіанти реалізації алгоритму планувальника пакетів залежності від інфраструктури оператора. Проведено порівняння різних моделей аналізу часових рядів, які лежать в основі CoMP алгоритму, була створена метрика для оцінки їх ефективності. В результаті програмної симуляції виявлені такі характеристики CoMP алгоритму: середня кількість перемикань між секторами, середній виграш за пропускну здатністю.

Таким чином, завдань, що ставилися в дипломній роботі, досягнуто.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ETSI TS 102 250-1. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 1: Identification of Quality of Services aspects.
2. ETSI TS 102 250-2. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 2: Definition of Quality of Services parameters and their computation.
3. ETSI TS 123 107: "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Quality of Service (QoS) concept and architecture (3GPP TS 123.107 Release
4. ETSI TS 102 250-3. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 3: Typical procedures of Quality of Service measurement equipment.
5. ETSI TS 102 250-5. Speech processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 5: Post processing and statistical methods.
6. ETSI TS 129 208: "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); End to end Quality of Service (QoS) signaling flows (3GPP TS 29.208 Release
7. ITU-T H.323 Packet-based Multimedia Communications Systems, 2000.
8. ITU-T H.324 Terminal for Low Bit Rate Multimedia Communication 1998.
9. ITU-R Recommendation E.800 (08.94) Terms and definitions, related to Quality of Services and network performance including dependability
10. ITU-T Recommendation P.862: "Perceptual evaluation of Speech Quality (PESQ), an objective method for End to end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs".

- 11.ETSI:ETR 003: Network Aspect (NA). General aspects of quality of services (Qos) and Network Performance (NP).-1994
- 12.ETSI:ETR 138: Quality of service indicators for Open Network Provision (ONP) of voice telephone and Integrated Services Digital Network (ISDN).- 1999.
- 13.3GPP. Coordinated multi-point operation for LTE physical layer aspects. TR 36.819 version 11.2.0 Release 11. — URL: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36_series/36.819/36819-b20.zip.
- 14.3GPP. LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation. TS 36.211 version 12.6.0 Release 12. — URL: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136200_136299/136211/12.06.00_60/ts_136211v120600p.pdf.
- 15.3GPP. Network architecture. TS 23.002 version 11.06.0 Release 11. — URL: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123000_123099/123002/11.06.00_60/ts_123002v110600p.pdf.
- 16.LTE; E-UTRA; Radio resource Control; Protocol specification : Rep. /
- 17.European Telecommunications Standards Institute ; Executor: 3GPP : 2012.
- 18.3rd Generation Partnership Project The. About 3GPP Home // The Mobile Broadband Standart. — 2015. — URL: <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp> (online; accessed: 25.09.2015).
- 19.Agency European Space. Selected projects and mentoring organizations // ESA Summer of Code in Space. — 2015. — URL: <http://sophia.estec.esa.int/socis2015/?q=node/13> (online; accessed: 10.08.2015).
- 20.Barbieri A. Corp. RD Qualcomm Inc. San Diego CA USA; Gaal P.; Geirhofer S.; Ji T. Coordinated downlink multi-point communications in heterogeneous cellular networks // Information Theory and Applications Workshop (ITA). — 2012. — February. — P. 7–16.

21. Reis A. Correia N. Souto¹, da Silva M. Marques. Coordinated Multi-Point MIMO Processing for 4G // Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings. — 2014.
22. Consortium NS-3. Design Documentation // ns-3 project. — 2015. — URL: <https://www.nsnam.org/docs/models/html/lte-design.html> (online; accessed: 25.09.2018).
23. Consortium NS-3. User Documentation // ns-3 project. — 2015. — URL: <https://www.nsnam.org/docs/models/html/lte-user.html> (online; accessed: 25.09.2018).
24. Consortium NS-3. ns-3 Model Library // ns-3 project. — 2015. — URL: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.24/models/ns-3-model-library.pdf> (online; accessed: 25.09.2018).
25. Forum Small Cell. Membership listing. — 2015. — URL: <http://www.smallcellforum.org/membership/membership-listing/> (online; accessed: 25.09.2018).
26. G. Nardini G. Stea A. Virdis D. Sabella M. Caretti. Practical large-scale coordinated scheduling in LTE-Advanced networks // Springer Wireless Networks. — 2015. — March.
27. Google. Accepted Projects // Google Summer of Code. — 2015. — URL: <https://www.google-melange.com/gsoc/projects/list/google/gsoc2015> (online; accessed: 10.08.2018).
28. Performance evaluation of DL CoMP in scenario 3 : Rep. / 3GPP ; Executor: HiSilicon Huawei : 2011.
29. Irmer R.; Droste H. ; Marsch P. ; Coordinated multipoint: Concepts, performance, and field trial results // Communications Magazine, IEEE. — 2011. — Vol. 49.
30. Kaufman Perry J. Improving Performance in Changing Markets. Smarter Trading. — 1995.

31. Жданов А.Г., Рассказов Д.А., Смирнов Д.А., Шипилов М.М. Передача речи по сетям с коммутацией пакетов // СП6ГУТ.-2001.
32. Муравьев В.Е. Оценка качества передачи речи в современных сетях связи // Мобильные системы.-2003.-№8.-с.43-46.
33. Калинин А.А. Качество обслуживания в системах IMT-MS-1X // Мобильные системы.-2003.-№7.-с.7-9.
34. Кудин А.В., Максименко В.Н. Оценка качества услуг пакетной передачи данных в сетях сотовой подвижной связи // Мобильные системы.-2003,- №5.-с.24-29.
35. Рерле Р.Д., Ехриель И.М., Данилов И.В. Протоколы GPRS и их тестирование // Мобильные системы.-2002.-№10.-с.44-50.
36. Цыбулин М.К., Бокуняев К.А. Интегральная оценка качества передачи речевой информации по каналам мобильной связи // Вестник связи.-2003.- №9.-с.83-85.
37. Громаков Ю.А., Поповский А.В. Факторы, влияющие на время доставки коротких сообщений в сетях LTE // Мобильные системы.-2015.-№10.- с.17-21.
38. Тихвинский В., Яснова И. Международная стандартизация требований к качеству предоставления услуг связи // Мобильные телекоммуникации.- 2003.-№5.-с.26-29.
39. Безруков А.В. Контроль характеристик в системах сотовой связи стандарта CDMA // Технологии и средства связи.-1999.-№4.-с.54-56.
40. Володина Е.Е., Тихвинский В.О. Управление качеством услуг подвижной связи четвертого поколения // Мобильные системы.-2014.-№2.-с.24-29